

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПЛАНИРОВКЕ ТЕРРИТОРИЙ

ТОМ 01
№ 1
2022

- СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
- ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
- ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
- СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА
- ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
- УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

MODERN TRENDS IN CONSTRUCTION, URBAN AND TERRITORIAL PLANNING
SOVTENDS.ELPUB.RU



Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Т. 1, № 1, 2022

Электронный научно-практический журнал

Учредитель и издатель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

Структура журнала определена в соответствии с Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 февраля 2021 г. № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093» в составе следующих научных специальностей:

– 2.1.1. «Строительные конструкции, здания и сооружения»;
– 2.1.2. «Основания и фундаменты, подземные сооружения»;
– 2.1.5. «Строительные материалы и изделия»;
– 2.1.7. «Технология и организация строительства»;
– 2.1.9. «Строительная механика»;
– 2.1.13. «Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов»;
– 2.1.14. «Управление жизненным циклом объектов строительства».

Индексируется Российским индексом научного цитирования (РИНЦ), международной базой EBSCO (Academic Search Ultimate Magazines and Journal), Dimensions, CyberLeninka, ROAD, GoogleScholar.

Учредитель и издатель журнала является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ), подключен к международной системе CrossRef.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-83923 от 16 сентября 2022 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Над номером работали:
С.Г. Студенникова, А.О. Северин, С.А. Еременко

Адрес учредителя, издателя и редакции:
344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. +7 (863) 2-738-372
E-mail: sovtendstr@gmail.com



СОДЕРЖАНИЕ





УДК 624.012.04-52
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-4-16

Научная статья



Повышение прочности и жесткости железобетонных внецентренно сжатых элементов углепластиковым армированием

С. В. Георгиев ✉, Д. Р. Маилян

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ sergey.georgiev@bk.ru

Аннотация

Введение. Существующие методы усиления железобетонных конструкций очень дорогостоящие и трудоёмкие. Разработка новых систем усиления, позволяющих снизить сроки производства работ и их стоимость, является делом перспективным и актуальным. Современные методы усиления, в основе которых лежат композитные материалы, являются недостаточно изученными в России. Особенно это касается поведения композитных материалов в железобетонных конструкциях. Отсутствие таких исследований приводит к перерасходу материалов и увеличению стоимости работ по усилению конструкций. Целью данной работы является изучение относительных деформаций композитных материалов, расположенных в продольном и поперечном направлении, при работе внецентренно сжатых гибких железобетонных стоек.

Материалы и методы. В качестве материальной базы выступают результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности внецентренно сжатых железобетонных стоек, усиленных различными вариантами композитного внешнего армирования. В наиболее нагруженных зонах композитного усиления наклеивались тензодатчики с базой 2 см, улавливающие изменение относительных деформаций до 0,001 мм. Всего в анализе были использованы результаты работы пяти стоек. В процессе эксперимента определялись прогибы и относительные деформации бетона и композитных материалов.

Результаты исследования. В результате проведённых экспериментальных исследований были получены относительные деформации композитных материалов в продольном и поперечном направлении. Измерения проводились при ступенчато возрастающей нагрузке, равной 10 % от разрушающей. На основании полученных данных были построены графики зависимости изменения относительных деформаций от уровней нагрузки для каждого испытанного образца. Помимо показаний тензодатчиков, получены и графически представлены прогибы опытных образцов в процессе испытаний.

Обсуждение и заключения. Полученные экспериментальные данные по прогибам и относительным деформациям в композитных материалах позволили определить зоны наиболее и наименее напряжённых участков композитного усиления. На основе анализа этих данных были сделаны выводы о разработке новых схем усиления, позволяющих существенно сэкономить объём используемых композитных материалов без уменьшения их эффективности.

Ключевые слова: бетон, железобетон, сталь, углепластик, композитная арматура, усиление, деформации, напряжение.

Благодарности. Авторы благодарят руководителей ООО «НЦК» за предоставленные материалы.

Для цитирования. Георгиев, С. В. Повышение прочности и жесткости железобетонных внецентренно сжатых элементов углепластиковым армированием / С. В. Георгиев, Д. Р. Маилян // Современные тенденции в

строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 1. — С. 4–16. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-4-16

Original article

Increasing the Strength and Rigidity of Reinforced Concrete Eccentrically Compressed Elements with Carbon Fiber Reinforcement

Sergey V. Georgiev ✉, **Dmitry R. Mailyan**

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ sergey.georgiev@bk.ru

Abstract

Introduction. Existing methods of reinforced concrete structures strengthening are very expensive and time-consuming. The development of new strengthening systems allowing to reduce time and cost of works is perspective and relevant task. Modern methods of strengthening with composite materials are insufficiently studied in Russia. Particularly if the behavior of composite materials in the reinforced concrete structures is concerned. The lack of research in this area leads to the overrun of materials and increase in the cost of structures' strengthening. The aim of this work is to study the relative deformations of composite materials in the longitudinal and transverse directions during the operation of eccentrically compressed flexible reinforced concrete poles.

Materials and methods. The factual basis for the research are the results of experimental studies of the strength and deformability of eccentrically compressed reinforced concrete poles, strengthened with various types of composite external reinforcement. In the most loaded zones of the composite reinforcement, the 2 cm-long strain gauges were glued, capable of detecting changes in relative deformations up to 0.001 mm. In total, the results of operation of 5 poles were used in the analysis. During the experiment, deflections and relative deformations of concrete and composite materials were determined.

Results. In the result of experimental studies, relative deformations of composite materials in the longitudinal and transverse directions were obtained. The measurements were carried out at a stepwise increasing load equal to 10 % of the breaking load. Based on the data obtained, graphs of the dependence of the change in relative deformations on the load levels were plotted for each tested sample. In addition to the readings of strain gauges, deflections of tested samples were obtained during testing and graphically presented.

Discussion and Conclusions. The obtained experimental data on deflections and relative deformations in composite materials made it possible to determine the zones of the most and least strained sections of the composite reinforcement. Based on the analysis of these data, conclusions were drawn about the development of new strengthening systems that can significantly save the amount of composite materials used without reducing their efficiency.

Keywords: concrete, reinforced concrete, steel, carbon fiber, composite reinforcement, strengthening, deformations, strain.

Acknowledgements. The authors would like to thank the heads of "NCK" LLC for the provided materials.

For citation. S.V. Georgiev, D.R. Mailyan. Increasing the strength and rigidity of reinforced concrete eccentrically compressed elements with carbon fiber reinforcement. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 4–16. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-4-16

Введение. Использование в современном строительстве железобетона для изготовления несущих конструкций наиболее рационально в связи с распространенностью исходных материалов, его дешевизной и долговечностью [1–4].

Соединения бетона и металла позволяют создавать конструкции высокой прочности и эффективности, по сравнению с металлическими и деревянными несущими конструкциями.

Железобетонные конструкции в нормальных условиях, без температурных перепадов, неблагоприятного влияния окружающей среды и т. д. способны сохранять свою прочность до 100 лет.

Однако при воздействии агрессивной среды или иных факторов целостность и, соответственно, долговечность конструкций существенно снижаются [5].

В аварийных ситуациях перед инженерами встает выбор: или замена конструкции (сооружения) в целом, или восстановление ее несущей способности. На выбор влияют в основном экономические показатели, которые зависят от стоимости материалов и работ по усилению (возведению) конструкций, доставки и аренды опалубки и др.

Наиболее уязвимы конструкции, расположенные в зонах воздействия агрессивных производственных процессов или негативных атмосферных факторов [6]. Из известных способов усиления железобетонных конструкций наиболее популярными являются методы, основанные на использовании железобетона или металла [7–9]. Однако подобные методы усиления несмотря на свою достаточно высокую эффективность и низкую стоимость материалов отличаются высокой трудоемкостью и сложностью, вследствие чего не являются перспективными [10, 11].

Из-за особенности работы гибких внецентренно сжатых конструкций описанные выше методы усиления не всегда дают существенный прирост прочности, особенно когда на конструкцию наложены требования по предельным прогибам [12].

В последнее время наиболее эффективным и дешевым методом для усиления растянутой зоны железобетонных конструкций (особенно для изгибаемых элементов) считается наклеивание композитных материалов, основанных на углепластиках [13–15].

В России композитные системы усиления в строительстве только начинают массово использоваться. Однако высокая стоимость материалов и немногочисленные научные исследования в этой области не позволяют в полной мере решить проблемы усиления железобетонных конструкций композитными материалами и полностью вытеснить традиционные методы. Особенно это касается сжатых элементов с высокой гибкостью и работающих при больших суммарных эксцентриситетах приложения нагрузки.

В области проектирования сжатых элементов самыми малоэффективными являются гибкие образцы, работающие при больших эксцентриситетах приложения нагрузки [16, 17]. Подобные конструкции рассчитываются по балочной схеме, к тому же к ним часто предъявляются требования по прогибам, ограничивающие предельную прочность конструкций. Для сжатых железобетонных элементов требования по предельным прогибам обосновываются в основном технологическими причинами. Наиболее жёсткие ограничения по предельным прогибам выдвигаются для четырех категорий сжатых железобетонных колонн. Ниже приведены основные требования к предельным прогибам и описание конструкций, на которые введены ограничения.

В многоэтажных зданиях железобетонные сжатые панели, шарнирно закрепленные с перекрытием, ограничиваются по предельным прогибам величиной h / 300, при этом подразумевается податливое соединение перекрытия и сжатого элемента.

Элементы конструкции фахверка ограничиваются по предельным прогибам l / 200, что является конструктивным мероприятием.

Опоры конвейерных галерей ограничиваются по предельным прогибам величиной h / 250. Это ограничение связано с технологической необходимостью работы конвейерных галерей.

Наиболее жесткие требования предъявляются к конструкциям промышленных зданий с мостовыми кранами. В зависимости от режима работы крана предельные прогибы ограничиваются согласно данным таблицы Д.3 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», однако эти ограничения не должны быть меньше 6 мм.

Все перечисленные выше конструкции в большинстве своём работают на внецентренное сжатие при малых эксцентриситетах приложения нагрузки. Такие ограничения существенно занижают предельную нагрузку на проектируемую конструкцию.

Для решения данной проблемы были спроектированы, изготовлены, усилены и испытаны гибкие железобетонные конструкции, работающие с малыми эксцентриситетами приложения нагрузки. В процессе эксперимента были зафиксированы предельные прочности и уровни нагрузки при предельных нормативных прогибах.

Основные цели научного исследования:

– определение наиболее эффективных вариантов усиления железобетонных конструкций композитными материалами с характеристиками, выходящими за ограничения СП 164.1325800.2014 по предельной гибкости и эксцентриситету приложения нагрузки;

– определение наиболее нагруженных зон композитного усиления согласно показаниям тензодатчиков, наклеенных на углепластиковых ламелях или на углеткани;

– определение влияния внешнего композитного усиления на увеличение несущей способности внецентренно сжатых железобетонных конструкций, на которые накладываются требования по ограничению предельных прогибов согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Для достижения поставленных целей были выполнены следующие действия:

– изготовлены, усилены и испытаны железобетонные стойки;

– в процессе испытания были замечены относительные деформации в композитных материалах и на основе полученных данных были построены графики изменения деформаций по отношению к уровню нагрузки;

– проанализированы показания всех тензодатчиков с целью выявления наиболее эффективных зон композитного усиления;

– разработаны предложения по эффективному усилению композитными материалами гибких внецентренно сжатых железобетонных конструкций.

Материалы и методы. В качестве материалов исследования были взяты результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности железобетонных стоек.

Железобетонные опытные образцы имели различные варианты композитного усиления, результаты испытаний которых сравнивались со значениями эталонного, неусиленного, образца.

Железобетонные стойки имели следующие габариты: высота сечения — 12,5 см, ширина — 25 см, длина — 240 см. При таких габаритах гибкость железобетонных конструкций составляла $\lambda_h = 20$. Все опытные образцы испытывались при эксцентриситете приложения нагрузки $e_0 = 4$ см (0,32 h).

Прочность бетона на сжатие определялась согласно результатам испытания серии бетонных кубов гранью 15 см, значение которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытания опытных образцов

№ п/п	Шифр стоек	Класс бетона – B	Прочность, кН N_s; $N_{s,f}$	Прогибы, f^{exp},мм	Прочность при прогибе, кН				Коэффициенты усиления				
					6 мм	8 мм	9,6 мм	12 мм	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
1	БГ	30,6	410	20,5	160	215	260	320	—	—	—	—	—
2	БГУ-Х$_1$	30,0	400	15,2	170	215	260	320	0,98	1,06	1,00	1,00	1,00
3	БГУ-Х$_2$	31,2	450	28,1	240	290	340	400	1,10	1,50	1,35	1,31	1,25
4	БГУ-Х$_5$	35,7	510	15,5	350	425	470	530	1,24	2,19	1,98	1,81	1,66
5	БГУ-Х$_2$L$_p$	31,2	510	34,2	200	250	280	350	1,24	1,25	1,16	1,08	1,09
6	БГУ-Х$_3$L$_p$	39,8	714,5	24,7	340	400	450	530	1,74	2,13	1,86	1,73	1,66

Примечания:

1. В столбцах 6–9 приведены данные о прочности конструкций при предельных прогибах для колонн промышленных одноэтажных зданий с мостовыми кранами, кН l / 500–l /2500 ≥ 6 мм; железобетонных панелей с податливым соединением, кН h / 300 = 2400 / 300 = 8 мм; опор конвейерных галерей, кН l / 250 = 2400 / 250 = 9,6 мм; стоек фахверковых систем, кН l / 200 = 2400 / 200 = 12 мм.

2. В столбцах 10–14 приведены коэффициенты усиления при предельной прочности образцов f_1; при предельном прогибе, равном 6 мм, для колонн промышленных зданий f_2; для железобетонных панелей с податливым соединением f_3; опор конвейерных галерей f_4 и стоек фахверковых систем f_5.

Внутреннее продольное армирование принималось приблизительно в 1,5 % от общей площади бетона и состояло из четырех стержней диаметром 12А500. Поперечное внутреннее армирование состояло из металлических хомутов из арматуры класса В500 диаметром 6 мм. На приборных участках для предотвращения смятия конструкций устанавливался ряд металлических сеток. Защитный слой бетона для продольной арматуры составлял 2,5 см. Все опытные образцы испытывались при ступенчато возрастающей нагрузке этапами, приблизительно равными 5–10 % от максимальной.

Усиленные опытные образцы имели разные варианты композитного армирования, фото их представлены на рис. 1, а описание — в примечании к таблице 1.

В процессе эксперимента измерялись относительные деформации в наиболее нагруженных зонах композитного усиления, схемы расположения тензодатчиков представлены для каждой конструкции на рисунках. Графики изменения относительных деформаций композитных материалов по отношению к уровню нагрузки представлены на тех же рисунках справа.

Результаты исследования. В таблице 1 представлены основные характеристики опытных образцов и результаты испытаний. На рис. 2, 3 даны графики изменения прогибов опытных образцов при изменении уровня нагрузки (слева) и относительном уровне нагрузки N / N_{ult} (справа) и графики изменения коэффициентов усиления при предельно допустимых прогибах опытных образцов. На рис. 4–8 приведены схемы установки тензодатчиков на композитных материалах в наиболее нагруженных зонах (слева на рисунках) и графики изменения относительных деформаций по отношению к уровню нагрузки (справа на рисунках).

Для каждого образца представлено описание результатов изменения относительных деформаций в композитных материалах и поведение стойки в целом.

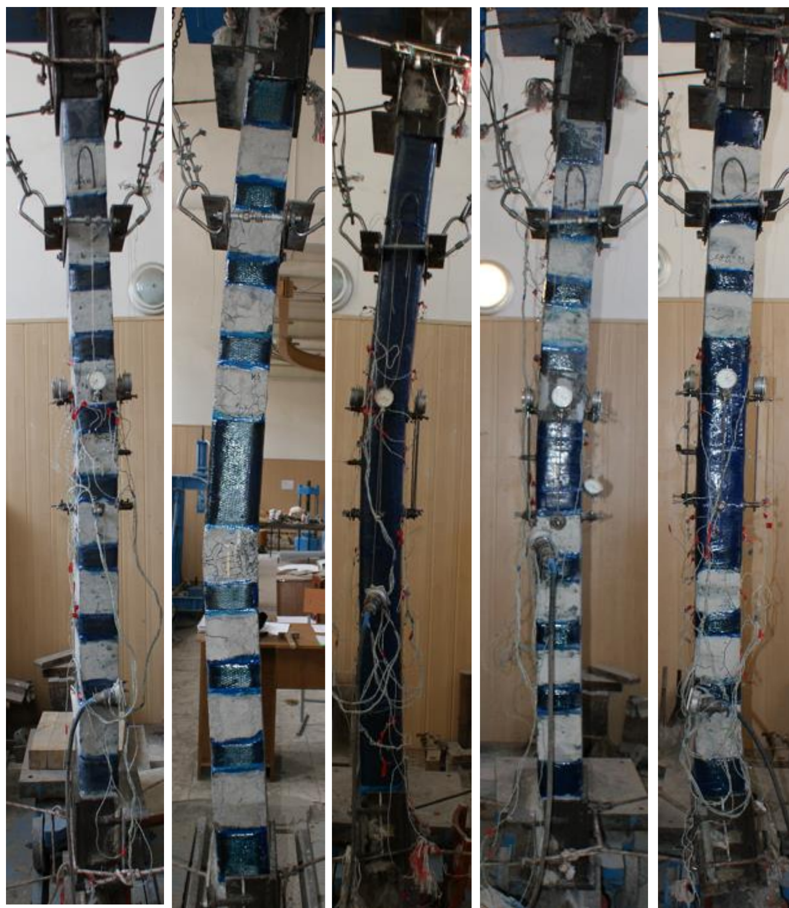


Рис. 1. Характер разрушения усиленных образцов (фото авторов)

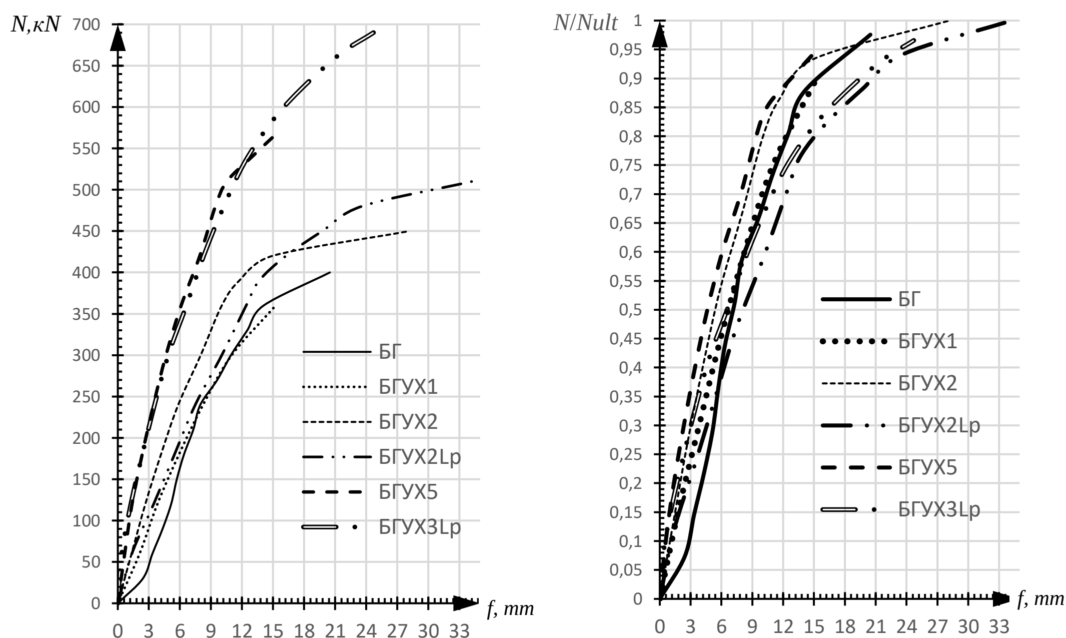


Рис. 2. Графики изменения прогибов опытных образцов при изменении уровня нагрузки (слева) и относительном уровне нагрузки N / N_{ult} (справа) (рисунок авторов)

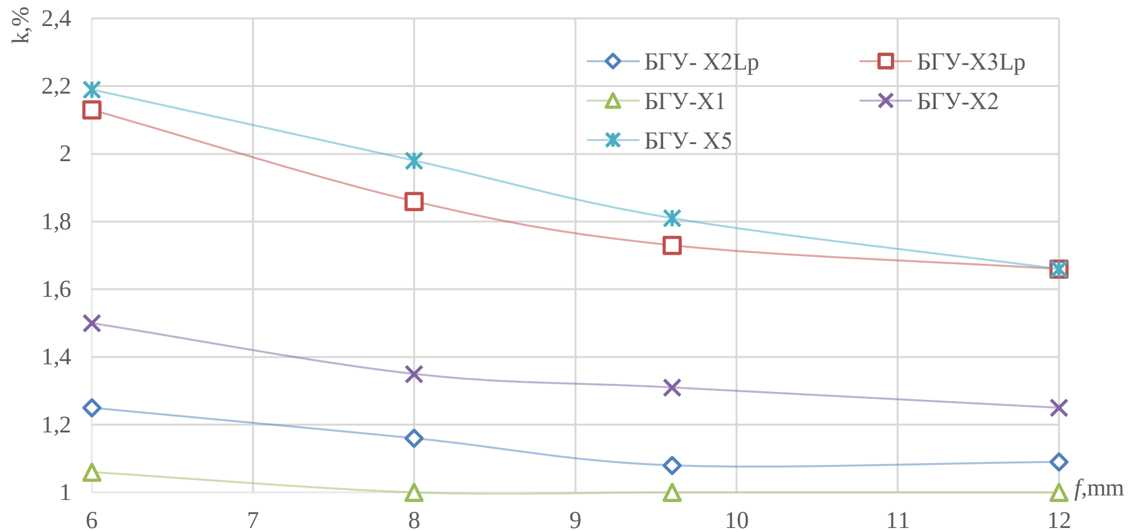


Рис. 3. Графики изменения коэффициентов усиления при предельно допустимых прогибах опытных образцов (рисунок авторов)

БГУ-Х$_1$ — железобетонная стойка, усиленная хомутами, шагом 190 мм, на приопорных участках установлены хомуты шириной 100 мм (рис. 4). Тензодатчики в основном наклеены на сжатую зону бетона. Согласно их показаниям, относительные деформации в композитных материалах изменяются от $0{,}1\times10^{-3}$ до $0{,}4\times10^{-3}$. Единственный тензодатчик, наклеенный в растянутую зону, находился в нейтральном состоянии. Его деформации не превышали $0{,}05\times10^{-3}$.

БГУ-Х$_2$ — образец усилен по аналогии со стойкой БГУ-Х$_1$, отличие заключается в том, что в центре установлен хомут шириной 240 мм (рис. 5). Тензодатчики Т10–Т14 расположены на композитных хомутах горизонтально в сжатой зоне бетона. Тензодатчики Т15 и Т16 расположены на растянутой грани в нижней части конструкции.

Относительные деформации на растянутой грани не превышали значения $0{,}05\times10^{-3}$, на сжатой — $0{,}5\times10^{-3}$–$0{,}6\times10^{-3}$. До уровня нагрузки 400 кН кривые относительных деформаций развивались по линейной зависимости, с повышением уровня нагрузки наклон кривых изменился, при этом отмечен рост значений относительных деформаций.

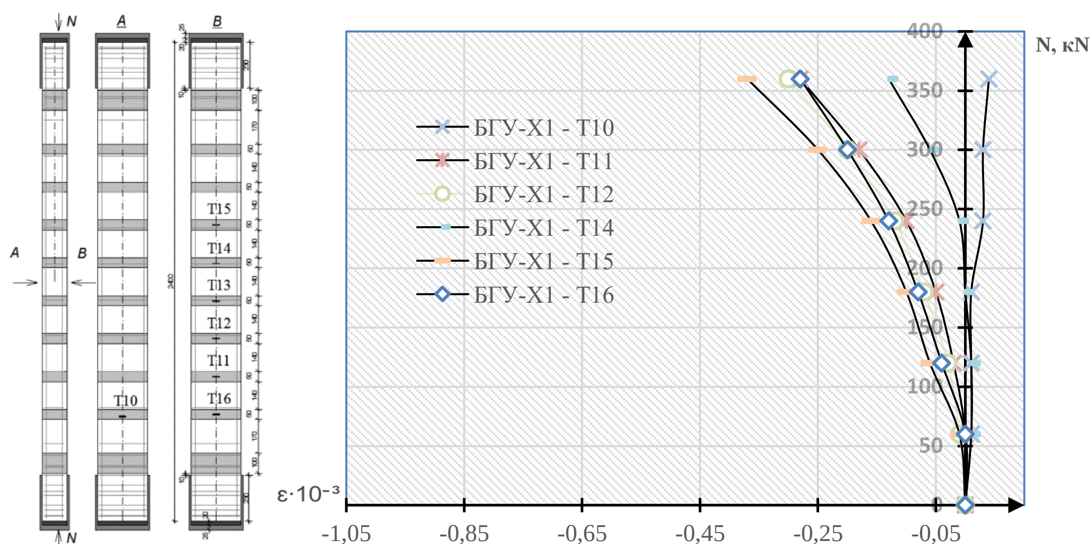


Рис. 4. Определение относительных деформаций в композитных материалах стойки шифра БГУ-Х$_1$ (рисунок авторов)

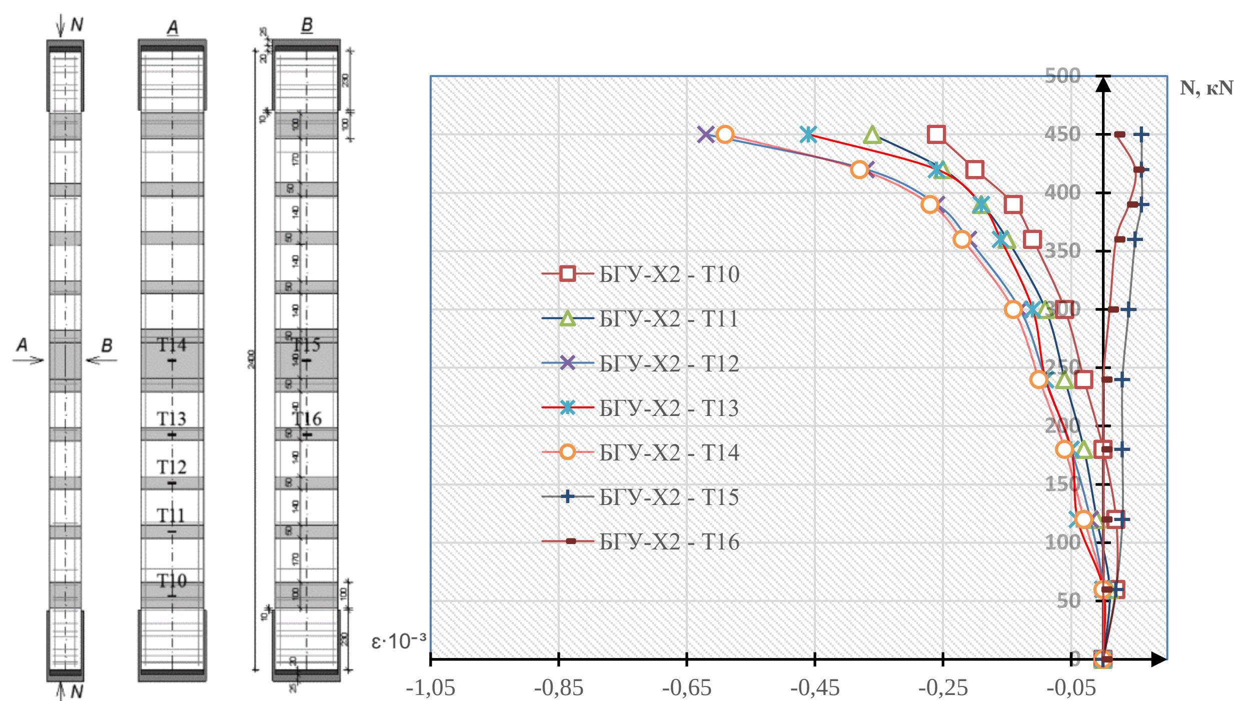


Рис. 5. Определение относительных деформаций в композитных материалах стойки шифра БГУ-Х$_2$ (рисунок авторов)

БГУ-Х$_5$ — стойка, усиленная обоймой (рис. 6). Тензодатчики наклеены горизонтально на сжатую и растянутую грани композитной обоймы. Датчики Т1–Т8 на всём протяжении эксперимента показывали относительные деформации в пределах $0{,}01\times10^{-3}$. Тензодатчики, расположенные на сжатой грани, показывали примерно одинаковые деформации — в пределах от $0{,}2\times10^{-3}$ до $0{,}38\times10^{-3}$. На всем протяжении эксперимента наблюдались практически одинаковые линейные зависимости изменений относительных деформаций композитных материалов.

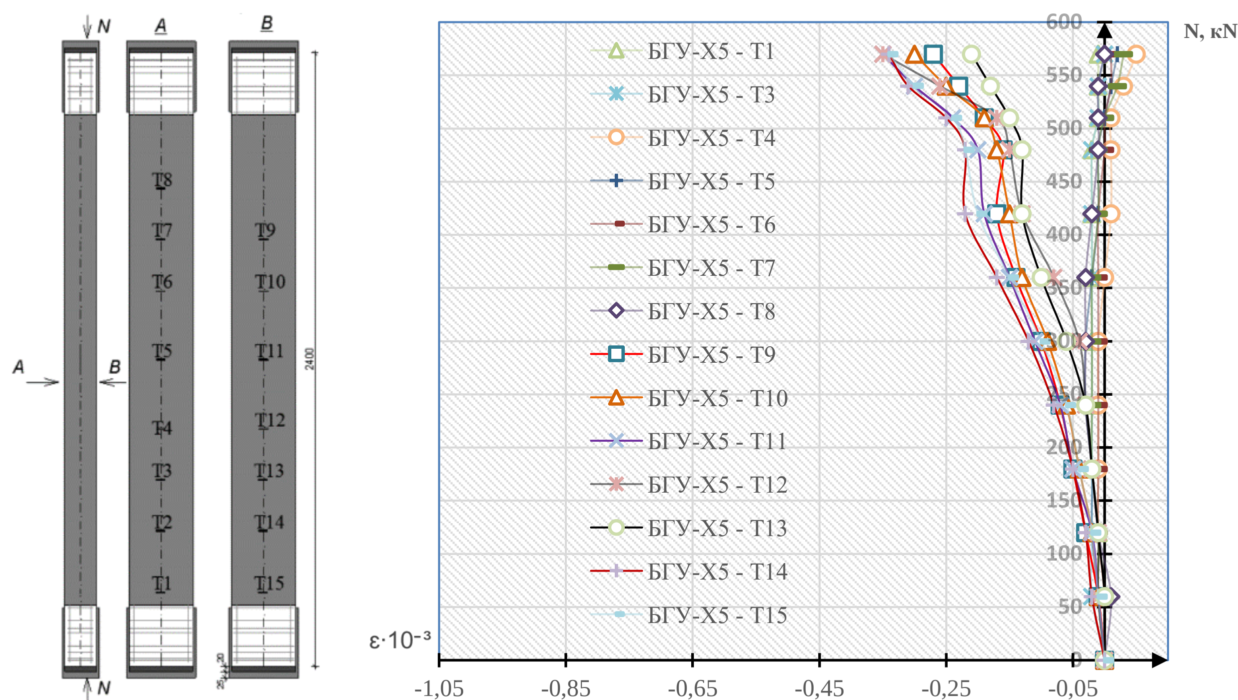


Рис. 6. Определение относительных деформаций в композитных материалах стойки шифра БГУ-Х$_5$ (рисунок авторов)

БГУ-X_2L_p — железобетонная стойка усилена поперечными хомутами согласно варианту БГУ-X_2 (рис. 7). Отличие заключалось в том, что в растянутой зоне добавлены две ламели.

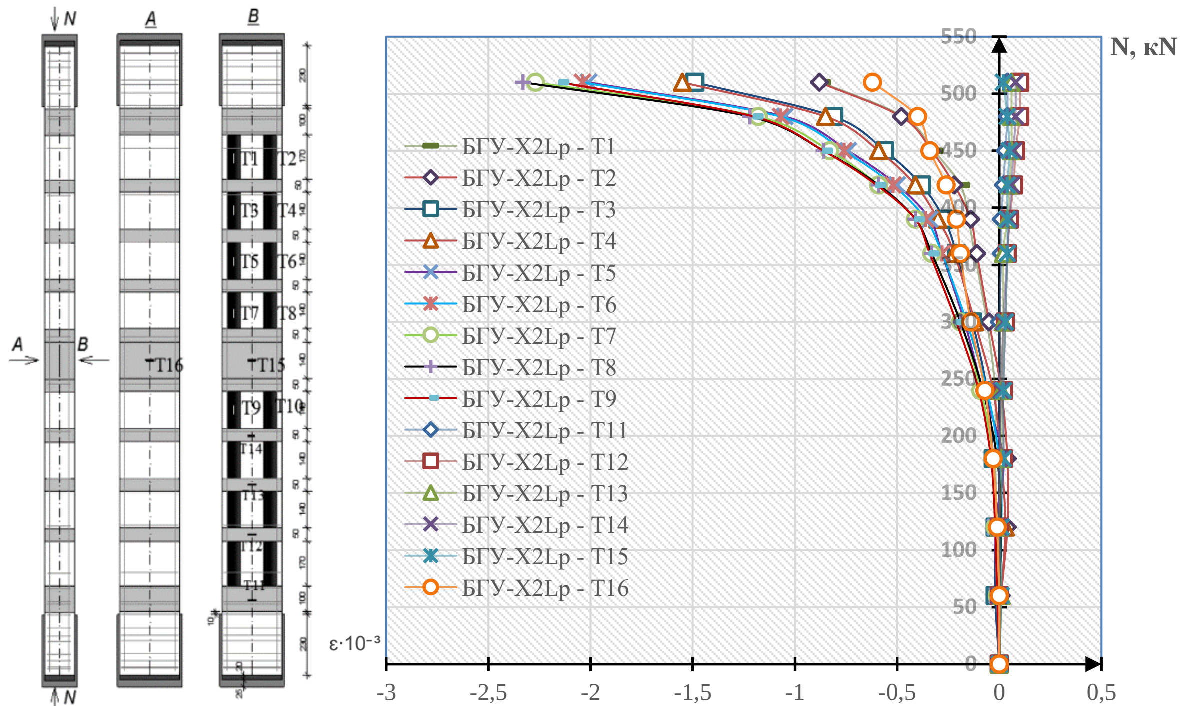


Рис. 7. Определение относительных деформаций в композитных материалах стойки шифра БГУ-X_2L_p (рисунок автора)

Согласно графику деформаций, тензодатчики, расположенные в растянутой зоне на хомутах, находились в пределах $0{,}05\times10^{-3}$, следовательно, влияние ламелей на изменение относительных деформаций отсутствовало.

В сжатой зоне тензодатчик Т16 показал относительную деформацию $0{,}6\times10^{-3}$. Относительные деформации в растянутых ламелях до уровня нагрузки 250 кН практически не развивались. С увеличением нагрузки до 400 кН угол наклона кривой (σ-ε) стал существенно больше, деформация в ламелях заметно увеличились. От уровня нагрузки 450 кН и вплоть до разрушения образца относительные деформации в среднем увеличились от $0{,}3\times10^{-3}$ до $1{,}9\times10^{-3}$. Наиболее растянутыми оказались ламели, расположенные между хомутами в середине стойки, а ближе к приопорным участкам деформации существенно уменьшались.

Между двумя ламелями наблюдалось равномерное распределение нагрузки, при этом предельные деформации достигали значения $2{,}3\times10^{-3}$.

БГУ-X_3L_p — железобетонная стойка, усиленная полуобоймой шириной 720 мм, расположенной в центре по длине колонны (рис. 8). На приопорных участках установлены хомуты шириной 50 и 100 мм.

Тензодатчики установлены согласно схеме на поперечных хомутах, полуобойме и на композитных ламелях.

Тензодатчики, установленные на полуобойме, в растянутой зоне показали несущественные деформации, в пределах $0{,}15\times10^{-3}$. На противоположной грани тензодатчики Т10–Т12 показали предельные деформации, находящиеся в области $0{,}55\times10^{-3}$–$0{,}7\times10^{-3}$.

Наибольшее значение деформации в ламелях показали тензодатчики Т3, Т4, Т6. Относительные деформации достигали значений до $1{,}7\times10^{-3}$. Тензодатчики Т8 и Т5 в процессе эксперимента перестали работать.

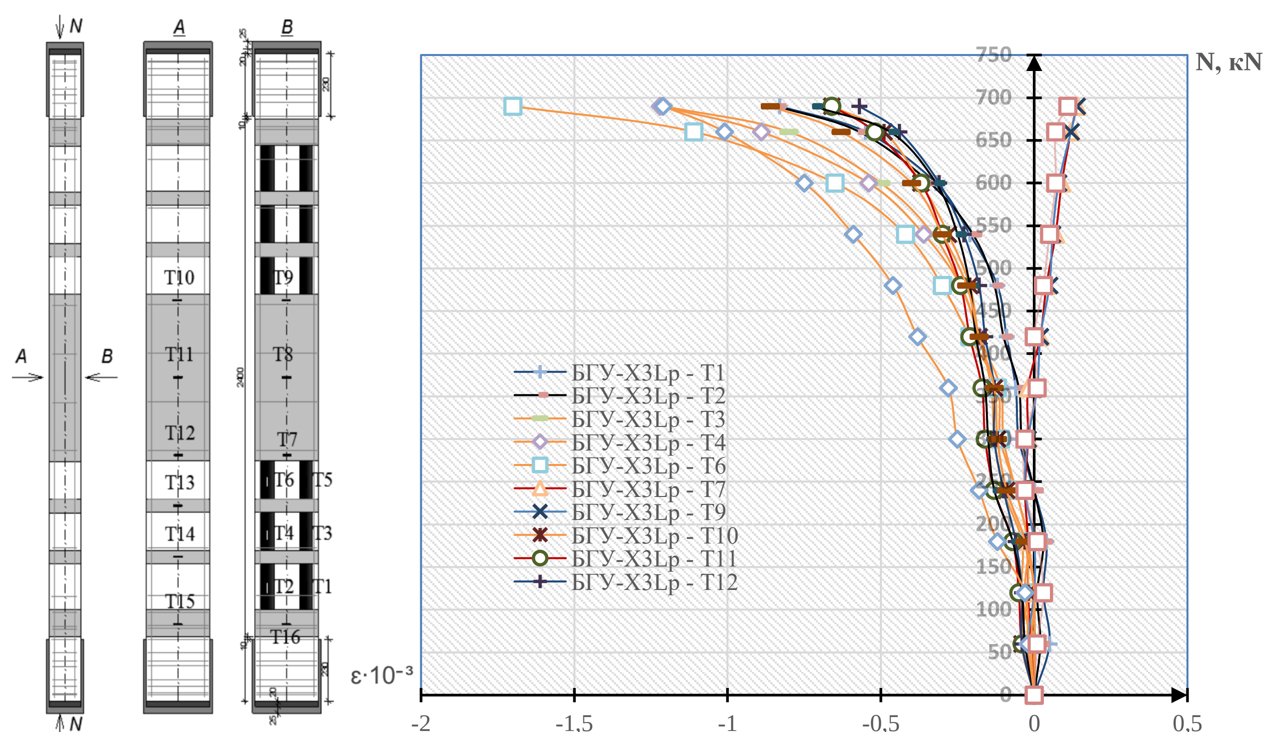


Рис. 8. Определение относительных деформаций в композитных материалах стойки шифра БГУ-X_3L_p (рисунок авторов)

Обсуждение и заключения. Анализ эффективности композитного усиления для гибких внецентренно сжатых железобетонных стоек будет производиться по следующим критериям:

– увеличение прочности усиленных образцов по сравнению с прочностью эталонной стойки;

– увеличение несущей способности при предельно допустимых прогибах согласно СП «Нагрузки и воздействия»;

– развитие относительных деформаций в композитных материалах.

Обработка полученных результатов экспериментальных исследований позволяет заключить следующее.

Опытный образец БГУ-X_1 не показал прироста предельной прочности и предельно допустимых прогибов. Разрушение опытного образца произошло между хомутами. Тензодатчики, расположенные в растянутой зоне, показали небольшие деформации, что говорит о сильным внешнем переармировании или слабом включении материалов усиления в работу конструкции. Последнее более вероятно, так как для данного образца отсутствует увеличение несущей способности по сравнению с эталонной стойкой.

Образец, усиленный по аналогии с предыдущей стойкой, с центральным хомутом шириной 240 мм (БГУ-X_2) показал прирост прочности, не превышающей 10 %, однако при предельно допустимых прогибах коэффициент усиления составил от 50 до 25 %. Анализ эффективности композитного усиления для данной стойки следует производить совместно с образцом БГУ-X_2L_p, отличающимся по системе усиления наклеиванием двух ламелей, расположенных в растянутой зоне. Увеличение нагрузки для данной стойки составляет 24 % при предельной прочности и от 25 до 9 % предельно допустимых прогибов. Уменьшение эффективности композитного усиления, по сравнению с предыдущей стойкой, не логично. Данное несоответствие может быть вызвано особенностью проведения испытаний образцов, а именно влиянием на результаты эксперимента случайного эксцентриситета. В любом случае совместное композитное усиление, состоящее из ламелей и поперечных хомутов, дало прирост прочности, по сравнению с эталонным образцом, однако потенциал композитного усиления остается недооцененным, и данный вид армирования не рекомендуется.

Наибольший интерес вызвали результаты испытаний образцов БГУ-X_3L_p и БГУ-X_5. Самый большой прирост прочности показал первый образец, усиленный полуобоймой с продольным композитным армированием. Коэффициент усиления составил 1,74. При предельно допустимых прогибах влияние композитного усиления варьируется от 66 до 113 % в сторону увеличения уровня нагрузки. Данный вид армирования является наиболее эффективным.

Стойка БГУ-X_5, согласно предельной прочности, показала 24 % увеличения нагрузки, однако при предельно допустимых прогибах увеличение нагрузки варьировалась от 66 до 119 %. Из этого можно сделать вывод, что композитное поперечное усиление влияет не на повышение прочности, а на увеличение жесткости образцов. Тензодатчики, наклеенные по всей длине конструкции, показали деформации, не превышающие $0{,}4\times10^{-3}$, что говорит о явном переармировании опытного образца. С растянутой стороны относительные деформации практически не развивались, это позволяет сделать вывод о том, что для подобных конструкций требуется меньшее количество поперечного армирования, кроме того, предоставляется возможность использования полуобоймы.

Анализ тензодатчиков для стоек БГУ-X_2L_p и БГУ-X_3L_p показал следующие результаты. В обеих стойках наблюдаются существенные деформации в продольном усилении. Это говорит о том, что композитные ламели полностью включаются в работу вплоть до разрушения образцов, причём с увеличением уровней нагрузки, превышающих 70 % от максимальной, включение в работу композитных ламелей становится существенно больше. Из этого можно сделать вывод, что разрушение стойки БГУ-X_2L_p произошло вследствие недостаточной прочности сжатой зоны бетона. Внецентренно сжатый элемент работает по балочной схеме, с явным армированием растянутой зоны. Композитное поперечное армирование работает аналогично стойкам БГУ-X_1 и БГУ-X_2, из чего следует, что площадь поперечного сечения композитных хомутов явно переармирована.

Для образца БГУ-X_3L_p, относительные деформации в композитных материалах работают аналогично бегу БГУ-X_2L_p, как в продольном, так и в поперечном усилении.

Исходя из полученных результатов эксперимента и проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

– расстояние в свету между хомутами, равное 140 мм, является недопустимым. При таком шаге композитного усиления отсутствует влияние композитного материала на увеличение прочности и жесткости опытных образцов. Рекомендуется ввести конструктивные ограничения на предельное расстояние между хомутами меньше 140 мм и провести ряд экспериментальных исследований по определению влияния шага композитных хомутов на увеличение эффективности композитного усиления;

– устройство хомута в центре по длине стойки не рекомендуется выполнять для увеличения прочности конструкции. Для увеличения несущей способности по второй группе предельных состояний рекомендуется выполнить дополнительные исследования;

– при проектировании поперечного усиления в виде обоймы рекомендуется использовать меньшее количество поперечного сечения композитного материала. В растянутой зоне отсутствует деформация, следовательно, необходимость устройства полной замкнутой обоймы остаётся под вопросом. Рекомендуется выполнить ряд дополнительных исследований с меньшим количеством слоёв углеткани и устройством неполной обоймы;

– при проектировании совместного композитного усиления в продольном и поперечном направлении рекомендуется производить продольное композитное армирование полуобоймой или обоймой. Анализ результатов эксперимента показал, что разрушение происходило по сжатой зоне бетона с явным

переармированием растянутой зоны. В связи с этим рекомендуется провести дополнительные исследования по увеличению несущей способности сжатой зоны бетона совместно с продольным композитным усилением в растянутой зоне.

Библиографический список

1. Черемных, С. В. Модель механики разрушения железобетона / С. В. Черемных // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Строительство. Электротехника и химические технологии. — 2022. — № 1 (13). — С. 28–38.

2. Клочкова, З. Ю. Применение железобетона и его преимущества, сравнительно с другими строительными материалами / З. Ю. Клочкова, А. Е. Суслова // Комплексное изучение и освоение недр Европейского Севера России : мат-лы всеросс. научно-технической конференции. — Ухта, 2021. — С. 110–112.

3. Тамразян, А. Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы / А. Г. Тамразян // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 7. — С. 51–54.

4. Аль Каради, Али. Основные физико-механические свойства железобетона / Али Аль Каради // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2013. — № 5. — С. 39–42.

5. Исследование свойств бетона железобетонных конструкций сооружений, эксплуатируемых в прибрежной зоне Черноморского побережья / В. Т. Ерофеев, Т. Ф. Ельчищева, А. И. Родин [и др.] // Транспортные сооружения. — 2018. — Т. 5, № 2. — 5 с.

6. Доломанюк, Р. Ю. Оценка состояния железобетонных конструкций для регрессивной зависимости коррозийных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона в условиях открытой атмосферы / Р. Ю. Доломанюк // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : сб. мат-лов III Нац. науч.-практ. конф. — Омск, 2020. — С. 524–528.

7. Курбанов, З. А. Усиление сборной железобетонной колоны методом железобетонной обоймы / З. А. Курбанов, К. Е. Грушевский // Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. В 3-х ч. — Ч. 1. — 2018. — С. 169–171.

8. Хаютин, Ю. Г. Ремонт и усиление железобетонных конструкций в зданиях из монолитного железобетона / Ю. Г. Хаютин, В. Л. Чернявский, Е. З. Аксельрод // Проектирование и строительство монолитных многоэтажных жилых и общественных зданий, мостов и тоннелей : сб. док-в. — Москва, 2000. — С. 195–198.

9. Данилов, С. В. Усиление железобетонных колонн стальными обоймами / С. В. Данилов, Л. М. Фомичева // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : мат-ы Междунар. науч.-техн. конф. — Могилев, 2017. — С. 240–241.

10. Муленкова, В. И. Проектирование усиления железобетонных и каменных несущих конструкций многоэтажных промышленных зданий / В. И. Муленкова, Д. В. Артюшин. — Пенза : ПГУАС, 201. — 90 с.

11. Гроздов, В. Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений / В. Т. Гроздов. — Санкт-Петербург : ООФ «ЦСК», 2005. — 114 с.

12. Яковлева, М. В. Восстановление и усиление железобетонных и каменных конструкций / М. В. Яковлева, О. Н. Коткова, В. С. Широков. — Москва : Форум : Инфра-М, 2015. — 190 с.

13. Polskoy P., Georgiev S., Muradyan V., Shilov A. The deformability of short pillars in various loading options and external composite reinforcement // Web of Conferences 2018. C. 02026.

14. Польской, П. П. Прочность и деформативность коротких усиленных стоек при малых эксцентриситетах / П. П. Польской, Д. Р. Маилян, С. В. Георгиев // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2014. — № 4–1. — С. 138. — URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2734 (дата обращения: 06.12.2022).

15. Mander J.B., Priestly Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete // ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 114 No. 8. 1988, pp. 1804-1826.

16. Польской, П. П. О влиянии гибкости стоек на эффективность композитного усиления / П. П. Польской, Д. Р. Маилян, С. В. Георгиев // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2015. — № 4 (38). — С. 81. — URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374 (дата обращения: 06.12.2022).

17. Евстифеев, В. Г. Проектирование железобетонных конструкций одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами / В. Г. Евстифеев. — Санкт-Петербург : ПГУПС, 2016. — 63 с.

Поступила в редакцию 16.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Маилян Дмитрий Рафаэлович — профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, dmailyan868@mail.ru

Георгиев Сергей Валерьевич — доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, sergey.georgiev@bk.ru

Заявленный вклад соавторов:

Георгиев С. В. — анализ результатов исследований, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов. Д. Р. Маилян — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, корректировка выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.




УДК 69.009: 504.06
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-17-23

Научная статья



Методы повышения энергоэффективности на этапе строительства жилых зданий повышенной этажности

С. Г. Шеина ✉, **Л. В. Гиря**, **А. Е. Швец**, **Н. С. Ларин**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ rgsu-gsh@mail.ru

Аннотация

Введение. Рост потребностей населения в энергетических ресурсах при уменьшении их запасов делает актуальной разработку методов повышения энергоэффективности зданий. Отмечена важность повышения уровня энергоэффективности за счет подбора комплекса мер по эффективному использованию энергетических ресурсов на всех этапах жизненного цикла. Анализ жилищного фонда г. Ростова-на-Дону, объемы прироста ввода жилья в России, имеющие положительную динамику, демонстрируют необходимость повышения энергоэффективности строящихся зданий.

Материалы и методы. Энергоэффективными методами являются применение современных теплоизоляционных материалов и «зеленое» строительство. Под последним подразумевается подход к созданию зданий с наименьшим влиянием на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла — от проектирования до ликвидации здания, включающий применение «зеленых» технологий: окна Smart Energy Glass, рекуператоры, солнечные панели.

Результаты исследования. Рассмотрены результаты применения энергоэффективных технологий на примере строящегося жилого комплекса «Островский» в г. Ростове-на-Дону. В результате планируемый класс энергоэффективности В (высокий) был повышен до А+ (очень высокий), что является одним из критериев зеленых зданий.

Обсуждение и заключения. Применение энергоэффективных мер при строительстве жилых домов позволяет экономить значительные объемы энергии и ресурсов на этапе эксплуатации домов повышенной этажности. В результате повышается класс энергоэффективности строений.

Ключевые слова: энергоэффективность, строительство, «зелёное» строительство, строительные материалы, информационное обеспечение, инновация.

Для цитирования. Шеина, С. Г. Методы повышения энергоэффективности на этапе строительства жилых зданий повышенной этажности / С. Г. Шеина, Л. В. Гиря, А. Е. Швец, Н. С. Ларин // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 1. — С. 17–23.
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-17-23

Original article

Methods of Enhancing Energy Efficiency at the Stage of Construction of High-Rise Residential Buildings

Svetlana G. Sheina ✉, **Lidiya V. Girya**, **Artem E. Shvets**, **Nikita S. Larin**

Don State Technical University, Gagarina sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ rgsu-gsh@mail.ru

Abstract

Introduction. People's growing needs in energy resources in conditions of resource deposits depletion makes it relevant the development of methods of enhancing buildings energy efficiency. The article notes the importance of increasing the level of energy efficiency by selecting a set of measures for the efficient use of energy resources at all stages of the life

cycle. The analysis of Rostov-on-Don housing stock and positive trend in housing commissioning capacity growth in Russia point at the need to enhance the energy efficiency of buildings being under construction.

Materials and Methods. Energy efficient methods are as follows: the application of modern thermal insulation materials and "green" building technologies. The latter implies the approach to the design of buildings inferring minimized impact on the environment at all stages of the life cycle — from a building's design to its elimination - including the application of "green" technologies: Smart Energy Glass windows, recuperators, solar panels.

Results. The results of energy-efficient technologies application were considered on the example of «Ostrovsky» residential compound being under construction in Rostov-on-Don. As a result the planned energy efficiency class B (high) was upgraded to A + (very high), which corresponds to one of the green building criteria.

Discussion and Conclusions. The use of energy efficient measures in construction of residential buildings allows to save considerable amounts of energy and resources at the stage of high-rise buildings operation, resulting in their energy efficiency class enhancement.

Keywords: energy efficiency, construction, “green” building, construction materials, information support, innovation.

For citation. S. G. Sheina, Lidiya V. Girya, Artem E. Shvets, Nikita S. Larin. Methods of Enhancing Energy Efficiency at the Stage of Construction of High-Rise Residential Buildings. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 17–23. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-17-23

Введение. Анализ существующего жилищного фонда г. Ростова-на-Дону малой (до 5 этажей) и маловысотной (до 8 этажей) этажности показывает, что потери тепла в этих зданиях значительно выше проектных. Это связано с условиями эксплуатации и низким качеством строительных материалов основных конструктивных элементов [1]. Повышение класса энергоэффективности является экономически нецелесообразным с позиции остаточного ресурса экономической эффективности жизни здания.

Объёмы прироста ввода жилья в России имеют положительную динамику. С каждым годом увеличивается число зданий, в том числе количество домов жилого назначения повышенной этажности. Обеспеченность ресурсами имеет ограничения, а их потребление растёт. Поэтому вопрос о повышении класса энергоэффективности таких зданий с целью уменьшения количества потребляемых ресурсов на этапе эксплуатации становится весьма актуальным [2].

В России на данный момент возведено 89 энергоэффективных домов (в Европе данный показатель достигает более 60 тысяч зданий), что составляет 0,15 % от общего числа домов подобного рода на европейском континенте [3]. Данный показатель является крайне незначительным, что недопустимо ввиду растущих потребностей населения в энергетических ресурсах.

На рис. 1 показана динамика прироста потребления углеродного топлива до 2030 года в России. В связи с этим многие авторы отмечают необходимость и важность увеличения энергетического потенциала зданий [3–5] и проведения энергосберегающих мероприятий на различных стадиях жизненного цикла [6–8] с разработкой методов по оценке эффективности принятых решений [9, 10].

В 2017 году Министерством строительства и ЖКХ РФ был издан приказ от № 98/пр «Об утверждении примерных форм перечня мероприятий, проведение которых в большей степени способствует энергосбережению и повышению эффективности использования энергетических ресурсов в многоквартирном доме»[1], предлагающий

[1] Приказ Минстроя России от 15 февраля 2017 г. № 98/пр «Об утверждении примерных форм перечня мероприятий, проведение которых в большей степени способствует энергосбережению и повышению эффективности использования энергетических ресурсов в многоквартирном доме»

наиболее эффективные энергосберегающие мероприятия, которые могут проводиться на различных этапах жизненного цикла, в частности, при строительстве и реконструкции зданий. Однако невозможно говорить о том, что они выполняются в полной мере. Например, не во всех домах применяются светодиодные лампы, системы автоматического закрывания двери и пр.

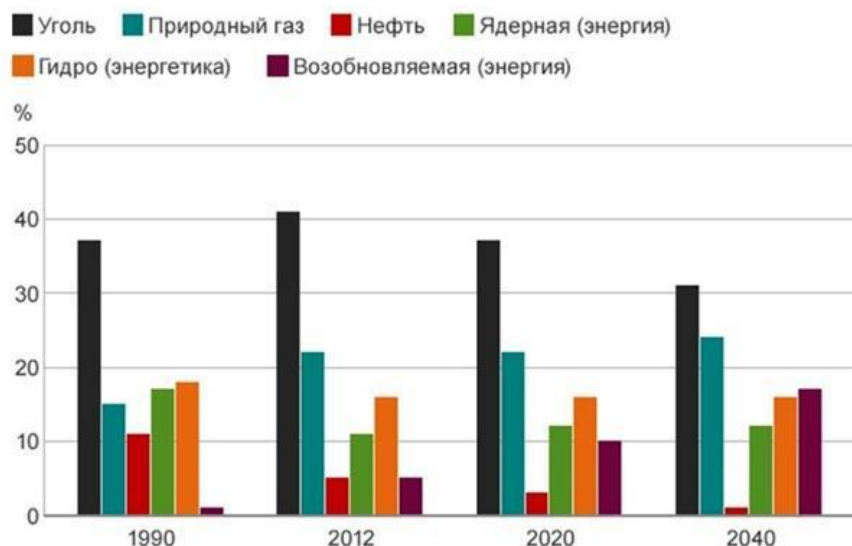


Рис. 1. Мировое производство электроэнергии от различных видов источников,1990 -2040 гг. [13]

Материалы и методы. Под энергоэффективностью понимается комплекс мер по эффективному использованию энергетических ресурсов на всех этапах жизненного цикла.

В новом строительстве до сих пор встречаются случаи применения дополнительного слоя кирпича или бетона в качестве дополнительного теплоизоляционного слоя вместо более современных пенополистирола или пенополиуретана. Поэтому проблема повышения класса энергоэффективности актуальна в настоящее время, она требует рассмотрения и решения. Различают несколько классов энергоэффективности здания, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Классы энергоэффективности здания

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Мероприятия
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
A++	Очень высокий	Ниже –60	Льгота по налогу на имущество на 3 года
A+		От –50 до –60 включительно	
A		От –40 до –50 включительно	
B+	Высокий	От –30 до –40 включительно	
B		От –15 до –30 включительно	
C+	Нормальный	От –5 до –15 включительно	–
C		От +5 до –5 включительно	
C–		От +15 до +5 включительно	
При эксплуатации существующих зданий			
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании или снос

Внимание, уделяемое экологии и энергоэффективности зданий, в настоящее время очень высоко. Мировым трендом является «зеленое» строительство, под которым понимается подход к созданию зданий с наименьшим влиянием на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла — от проектирования до ликвидации здания.

При строительстве жилых зданий повышенной этажности для повышения энергоэффективности могут быть применены следующие «зеленые» технологии: окна Smart Energy Glass, рекуператоры, солнечные панели.

Стекла в современных смарт-окнах Smart Energy Glass покрыты особым составом, работающим словно солнечная батарея, аккумулируя избыточный солнечный свет и превращая его в электричество. Они способны открываться по установленной программе, закрываться в дождь, регулировать свою светопроницаемость, температуру и уровень шума внутри помещения за счет сгенерированной энергии. Стекло, кроме обеспечения себя самого энергией, создает дополнительную внешнюю мощность и может снабдить энергией другие устройства.

Рекуператор — это устройство, которое предназначено для передачи тепловой энергии от вытяжного выбрасываемого воздуха к приточному воздуху, подаваемому в помещение. За счет данного устройства обеспечивается снижение потерь тепла в вентиляционных системах. Главное назначение рекуператора — получение полезной энергии от удаляемого воздуха. В зимний период вытяжной из помещения теплый воздух нагревает холодный приточный, давая помещению уже нагретый теплый свежий воздух, летом — наоборот. Рекуператоры бывают роторные, с промежуточным теплоносителем, пластинчатые перекрестно-точные, фреоновые и камерные. Отличным показателем коэффициента полезного действия (КПД) рекуператора является 80–90 %. Существенным преимуществом данного устройства является экономия на мощности электрического или водяного калорифера для нагрева и охлаждения приточного воздуха зимой и летом соответственно.

Благодаря солнечным панелям возможно преобразовать электромагнитное солнечное излучение, являющееся неиссякаемым источником энергии, в электрическую или тепловую энергию. Получаемая энергия может потребляться преобразованием тепла и через использование энергетического потенциала фотонов. От вида фотоэлемента (монокристаллический, поликристаллический, аморфный) зависит принцип и эффективность получения энергии. КПД наиболее дорогостоящего и эффективного монокристаллического фотоэлемента достигает 25 %. Для получения оптимальной мощности и эффективного напряжения в сети систему солнечных панелей блоки-преобразователи подключают последовательно-параллельным способом. Данная технология позволяет существенно экономить на плате за электроэнергию, получая ее экологически чистой и бесплатной.

Результаты исследования. Рассмотрим мероприятия для повышения класса энергоэффективности на примере строящегося жилого комплекса «Островский» в г. Ростове-на-Дону (рис. 2).

Планируемый класс энергоэффективности, согласно проектной документации, В (высокий). Предполагается, что для сохранения электрической энергии помещения ЖК будут оборудованы светодиодными светильниками, потребляющими меньшее количество энергии. Для сокращения расхода воды и электроэнергии планируется оборудование счётчиков расхода. Сохранение тепла предполагается путём введения материалов с малым коэффициентом теплопроводности.

Класс энергоэффективности можно увеличить до А+ (очень высокий). Для этого необходимо предусмотреть следующие меры:

– замена утеплителя на менее теплопроводный, таким материалом может послужить пенополистирол (ПСБ-С25), у которого коэффициент теплопроводности доходит до λ=0,029;

– переход на альтернативный автономный источник энергии, размещаемый на крыше дома. Таким источником является солнечная панель, а их каскад позволит запитывать коридорные или домовые светильники продолжительное время;

– использование окон Smart Energy Glass и рекуператоров, что позволит повысить энергоэффективность здания за счет экономии потребляемой электроэнергии и выработки своей собственной,

– применение рекуператоров в целях использования тепла и энергии вытяжного воздуха.



Рис. 2. Пример применения энергосберегающих технологий на примере жилого комплекса «Островский» (компьютерная модель, построено авторами)

В СТО НОСТРОЙ[2] приводится методика оценки устойчивости среды обитания (S-фактор). По расчетам авторов жилой комплекс «Суворовский» набрал 386 баллов, что соответствует классу «С». Применив предложенные технологии по увеличению энергоэффективности здания, удалось добиться 422 баллов, класс устойчивости среды «В». При получении данного класса жилому комплексу выдается сертификат о включении в систему СДОС НОСТРОЙ.

С 1 ноября 2022 года в России вступает в силу стандарт «зеленого» строительства для оценки жилых зданий ГОСТ Р 70 346–2022 «Зеленые стандарты»[3]. Он призван выделить «зеленые» жилые многоквартирные дома и ответственных застройщиков. Одним из критериев является класс энергоэффективности здания А, А+, А++. Рассматриваемый жилой комплекс «Суворовский» с предлагаемыми методами повышения энергоэффективности может претендовать на соответствие современным нормам и требованиям, в том числе по новому стандарту.

Обсуждение и заключения. Проведение предлагаемых мер ко всем домам нового строительства позволит экономить значительные объёмы энергии и ресурсов на этапе эксплуатации. Эти мероприятия должны считаться приоритетными при строительстве домов повышенной этажности (от 8 этажей) и массово внедряться при проектировании и строительстве новых зданий на всех этапах жизненного цикла строительного объекта.

[2] СТО НОСТРОЙ 2.35.68-2012 Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Учет региональных особенностей в рейтинговой системе оценки устойчивости среды обитания. ОАО ЦНИИпромзданий, ООО НПО ТЕРМЭК НП АВОК, 2018.

[3] ГОСТ Р 70 346–2022 «Зеленые» стандарты. Здания многоквартирные жилые «Зеленые». Методика оценки и критерии проектирования, строительства и эксплуатации // Национальный стандарт Российской Федерации. — М.: ФГБУ «РСТ», 2022.

Библиографический список

1. Шеина, С. Г. Оценка методов повышения энергоэффективности в жилых зданиях повышенной этажности для г. Ростова-на-Дону / С. Г. Шеина, П. В. Федяева // Инженерный вестник дона. — 2013. — № 2. — С. 86–92. URL: http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1713

2. Фриев, А. М. Исследование методов повышения энергоэффективности жилых зданий / А. М. Фриев, Д. А. Погодин // Вестник Евразийской науки. — 2019. — Т. 11, № 5. URL: https://esj.today/PDF/61SAVN519.pdf

3. Сколько энергоэффективных домов в России? : [сайт]. URL: https://ensaf.ru/ensaf/news/702108/ (дата обращения 09.11.2022).

4. Влияние социальных факторов на требуемый уровень тепловой защиты наружных стен жилых зданий / А. И. Ананьев, А. Г. Рымаров, Е. В. Войтович [и др.] // Вестник МГСУ. — 2017. — Т. 12. Вып. 7 (106). — С. 741–746.

5. Шеина, С. Г. Применение мирового опыта при строительстве энергоэффективных жилых комплексов в России / С. Г. Шеина, П. В. Федяева, А. А. Черникова // Инженерный вестник дона. — 2013. — № 5. URL: https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7646

6. Леонова, А. Н. Методы повышения энергоэффективности зданий при реконструкции / А. Н. Леонова, М. В. Курочка // Вестник МГСУ. — 2018. — № 13. Вып. 7 (118). — С. 805–813.

7. Игнатьев, В. Н. Перспективы энергосбережения и энергоменеджмента в России / Игнатьев В. Н. // Энергосбережение. — 2019. — № 3. — С. 60–65. URL: https://abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7210

8. Васильев, Г. П. Повышение энергетической эффективности многоквартирных домов. Проблемы и приоритетные задачи // Энергосбережение. — 2016. — № 5. — С. 4–9. URL: https://abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6449

9. Власенко, Г. П. Оценка эффективности использования многокритериального алгоритма для формирования перечня энерго- и ресурсосберегающих мероприятий в зданиях / Г. П. Власенко, А. З. Халилуллина // Энергосвет. — 2019. — № 3 (53). — 2018. — С. 32–39. URL: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=721

10. Фадеева, Г. Д. Повышение энергеэффективности жилого фонда за счёт малозатратных технологий (на примере г. Пензы) / Г. Д. Фадеева // Молодой ученый. — 2013. — № 6 (53). — С. 156-158. URL: https://moluch.ru/archive/53/7102/

11. Левинзон, С. В. Энергоресурсы: прогнозы и реальность : моногр. / С. В. Левинзон. — Москва : Академия Естествознания, 2018. — URL: https://monographies.ru/ru/book/view?id=778

Поступила в редакцию 10.11.2022

Поступила после рецензирования 19.11.2022

Принята к публикации 19.11.2022

Об авторах:

Шеина Светлана Георгиевна — заведующая кафедрой «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru.

Гиря Лидия Владимировна — доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство», Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ScopusID, ORCID, giryal@inbox.ru.

Швец Артем Евгеньевич — магистрант 1 курса направления «Гражданское строительство», кафедра «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ScopusID, ORCID, shvets.artyom@mail.ru.

Ларин Никита Сергеевич — магистрант 1 курса направления «Информационное моделирование в строительстве и городском хозяйстве» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, Larinnirita516@gmail.com.

Заявленный вклад соавторов:

С. Г. Шеина — научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования. Л. В. Гиря — доработка текста, корректировка выводов. Н. С. Ларин, А. Е. Швец — анализ результатов исследований, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.





УДК 691.327
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-24-33

Научная статья



Разработка лабораторных составов бетона на основе определенной сырьевой базы и ограничений при строительстве атомной электростанции «АККУЮ»

И. Ф. Развеева ✉, **С. А. Иванченко, И.В. Бондаренко, М. П Котенко** , **А. А. Федчишена**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ razveevai@mail.ru

Аннотация

Введение. Бетон является одним из наиболее часто применяемых материалов в строительстве, поэтому технологии его изготовления постоянно совершенствуются. В нашей статье мы разработаем лабораторные составы бетона на основе определенной сырьевой базы и ограничений, существующих на площадке при строительстве одной из АЭС в Турецкой Республике. Одним из результатов разработки технологии проектирования бетона является самоуплотняющийся бетон, который повышает устойчивость строительства из-за значительного сокращения потребляемой энергии. Самоуплотняющийся бетон – это разновидность бетона, который может полностью заполнить опалубку только самотеком, без необходимости вибрационного уплотнения. Его высокая текучесть и заполняющая способность – вот что дает ему преимущество перед обычным бетоном. Самоуплотняющийся бетон обладает высокой текучестью, высокой водоудерживающей способностью, хорошей прочностью. Задачей исследования являлось получение лабораторных составов бетона на основе определенной сырьевой базы и ограничений, существующих на строительной площадке.

Материалы и методы. Определен перечень сырья, потенциально отвечающего требованиям проектной документации. Подобраны составы бетонов с применением различных заполнителей, определено минимальное количество цемента, в том числе, с целью повышения коррозионной стойкости.

Результаты исследования. На основании имеющихся ограничений на строительной площадке и по итогам анализа сырьевых материалов с определением их оксидного состава было разработано 5 составов для каждой конструкции АЭС.

Обсуждение и заключения. В исследовании выполнены все поставленные задачи, основными из которых являются: анализ рынка сырьевых материалов, проведение лабораторных исследований сырьевых материалов, определение их фактических физико-механических характеристик, определение компонентов, отвечающих нормам и требованиям, получение лабораторных составов бетонных смесей с классификацией по их назначению. Указаны перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, бетон для строительства промышленных сооружений, коррозионная стойкость, агрессивное воздействие на бетон

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам, чья критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи.

Для цитирования. Разведва, И.Ф. Разработка лабораторных составов бетона на основе определенной сырьевой базы и ограничений при строительстве атомной электростанции «АККУЮ» / И. Ф. Разведва, С. А. Иванченко, И.В. Бондаренко, М. П Котенко, А. А. Федчишена // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 1. — С. 24–33. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-24-33

Original article

Development of Laboratory-made Compositions of Concrete Based on the Certain Raw Materials and Restrictions of the AKKUYU NPP Construction

Irina F. Razveeva ✉, Sergey A. Ivanchenko, Ivan V. Bondarenko, Maria P. Kotenko , Anastasia A. Fedchishena

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ razveevai@mail.ru

Abstract

Introduction. Concrete is one of the materials most frequently used in construction thus the technologies of its manufacturing are being constantly improved. In our article we will develop the laboratory-made compositions of concrete based on the certain raw materials resources and restrictions existing at the construction site of one of the nuclear power plants in the Republic of Türkiye. One of the results of elaborating the concrete composition design technology is the self-compacting concrete that fosters sustainable construction due to significant reduction of energy consumption. Self–compacting concrete is a type of concrete that can completely fill in the formwork only by gravity, without need for concrete consolidating by vibration. Its high fluidity and filling capacity are its advantages over conventional concrete. Self-compacting concrete has high fluidity, high water retention capacity, good strength. The aim of the study was to obtain the laboratory-made compositions of concrete based on the certain raw materials resources and restrictions existing at the construction site.

Materials and methods. The list of raw materials potentially meeting the design documentation requirements has been specified. The concrete compositions using various aggregates were selected, the minimum amount of cement was determined, aimed among other things at corrosion resistance improvement.

Results. Based on the restrictions existing at the construction site and according to the results of raw materials analysis including their oxide composition specification, 5 compositions were developed for each of NPP engineering structures.

Discussion and conclusions. The study has completed all the tasks set forth, the main of which are: analysis of the raw materials market, laboratory studies of raw materials, specification of their actual physical and mechanical properties, identification of components meeting the standards and requirements, obtaining the laboratory-made compositions of concrete mixtures classified by their designation. The perspectives for further research are indicated.

Keywords: self-compacting concrete, concrete for building the industrial structures, corrosion resistance, aggressive effect on concrete.

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the reviewers, whose critical evaluation of the submitted materials and suggestions on improvement thereof contributed much to article's quality enhancement.

For citation. I. F. Razveeva, S. A. Ivanchenko, I.V. Bondarenko, M. P. Kotenko, A. A. Fedchishena. Development of Laboratory-made Compositions of Concrete Based on the Certain Raw Materials and Restrictions of the AKKUYU NPP Construction. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 24–33. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-24-33

Введение. В последние годы технология бетона совершенствуется в связи с тем, что он является наиболее часто используемым строительным материалом в мире. Знание передовых методов проектирования бетона также улучшилось в последнее время из-за того, что разрабатываются различные типы бетона, содержащие различные добавки [1–8]. Одним из результатов разработки технологии проектирования бетона является самоуплотняющийся бетон (СУБ). Самоуплотняющийся бетон определяется как вяжущий материал, который может течь под собственным весом. Впервые он был разработан в конце 1990-х годов в Японии.

СУБ — это усовершенствованный материал, обладающий аналогичной прочностью и долговечностью по сравнению с традиционным вибробетоном [9, 10]. Несмотря на то, что СУБ широко используется в строительной практике, разработка правильной смеси СУБ по-прежнему является сложной задачей. Основной причиной этого является тот факт, что бетон сам по себе является квазихрупким материалом [11], СУБ требует соответствующего расхода, и чаще, в качестве побочных продуктов, в состав добавляются промышленные отходы: зола-уноса, микрокремнезем и молотый гранулированный доменный шлак [12]. Существуют определенные побочные продукты отходов, которые при включении в вяжущую систему в качестве частичной замены цемента существенно снижают требуемую энергию и выбросы CO_2.

Молотый гранулированный доменный шлак представляет собой мелкодисперсный порошок, получаемый как побочный продукт (при помоле в доменной печи) металлургической промышленности. В последнее время все больше исследований сосредоточено на изучении поведения вяжущих композитов, содержащих металлургический шлак. Это исследование особенно связано с механическими свойствами затвердевших цементных композитов (например, прочностью на сжатие [13], [14], [15], прочностью на растяжение [16], усадкой и деформацией ползучести [17]).

Целью данного исследования является разработка лабораторных составов бетона на основе определенной сырьевой базы и ограничений, существующих на площадке при строительстве одной из АЭС в Турецкой Республике.

Основными задачами данного исследования являются:

– определение сырьевой базы для производства бетонных смесей с учетом химико-минералогического состава сырьевых материалов и уровня технологии на предприятиях-изготовителях, определение соответствия отраслевым нормам атомной энергетики, российской, европейской и турецкой национальным нормативным базам;

– разработка лабораторных составов бетона на основе определенной сырьевой базы и ограничений, существующих на строительной площадке.

Материалы и методы. По результатам анализа рынка сырьевых материалов для производства бетона был определен перечень сырья, потенциально отвечающего требованиям проектной документации на одной из АЭС «АККУЮ», который представлен в таблице 1.

Таблица 1

Перечень сырьевых материалов для производства бетонных смесей

Вид материала	Марка	Производитель/поставщик
Цемент	Adana CEM III 42,5N	ADANA Cimento Sanayii T.A.S.
	Medcem CEM I 42,5 R	MEDCEM MADENCILIK VE YAPI MALZEMELERI SAN. VE TIC. A.S.
	Medcem CEM I 52,5 N	MEDCEM MADENCILIK VE YAPI MALZEMELERI SAN. VE TIC. A.S.
	Medcem CEM II/B-LL 32,5	MEDCEM MADENCILIK VE YAPI MALZEMELERI SAN. VE TIC. A.S.
Шлак металлургический	Iskanderun 2	ADANA CIMENTO SANAYII T.A.S. Fabrika ISKENDERUN-2
Песок кварцевый	$М_к$=2,04	MUSTAFA SIMSEK- SIMSEK KUM CAKIL OCAGI
	$М_к$=2,45	MUSTAFA SIMSEK- SIMSEK KUM CAKIL OCAGI
	$М_к$=2,47	OZMUTLUBETON INS.SAN.VE TIC.LTD.STI
Щебень известняковый	Фр 5-12	H.C.G. INSAAT VE TICARET ANONIM SIRKETI
	Фр 12-22	OZALTIN INSAAT A.S.
Щебень базальтовый	Фр 5-10, М1400	Измир №1/Гюрсель
	Фр 5-10, М1400	Измир №3/Гюрсель
	Фр 10-30, М1200	Конья
Мука базальтовая	–	Измир №3/Гюрсель

В соответствии с требованиями нормативно-технической и проектной документации на АЭС при изготовлении массивных железобетонных конструкций необходимо применять нормально твердеющие клинкерные цементы, где C_3S и C_3A не должно превышать 60 % и 7 % соответственно, а суммарное содержание C_3A+C_4AF не более 22 %. Так как по результатам лабораторных исследований цементов, представленных в таблице 1, не было выявлено ни одного вяжущего, соответствующего данным требованиям, то было принято решение применять портландцемент ЦЕМI 42,5Н пробной партии, выпущенный заводом Medcem (MEDCEM MADENCILIK VE YAPI MALZEMELERI SAN. VE TIC. A.S.) специально для разработки самоуплотняющихся бетонных смесей (СУБС). Физико-механические характеристики и минералогический состав пробной партии цемента представлен в таблицах 2-3.

Таблица 2

Физико-механические характеристики ЦЕМI 42,5Н

Наименование	Показатель
Удельная поверхность $см^2/г$	3632
Начало схватывания, мин	270
Нормальная густота, %	24,6
Прочность в возрасте 1 сут, МПа	7,6
Прочность в возрасте 7 сут, МПа	33,8
Прочность в возрасте 28 сут, МПа	48,8

Таблица 3

Минералогический состава ЦЕМI 42,5Н

Наименование	Показатель
Содержание C_3S, %	54,0
Содержание C_2S, %	17,6
Содержание C_3A, %	3,3
Содержание C_4AF, %	13,6
Содержание C_3A+C_4AF, %	16,9

Для прочих бетонов классов В7,5-В25 применялся цемент ЦЕМI 42,5R, производства Medcem (MEDCEM MADENCILIK VE YAPI MALZEMELERI SAN. VE TIC. A.S.).

Согласно требованиям стандарта Турецкой Республики, TS 13515, не допускается разогрев бетонных блоков выше 65 °С (с 2019 года предел увеличен до 70 °С), в связи с этим было принято решение минимизировать расход клинкерного вяжущего за счет введения молотого доменного металлургического шлака или золы-уноса. Кроме того, введение шлаков и зол является обязательным условием для применения потенциально реакционноспособных заполнителей.

Так при подборах состава применялся шлак «Iskanderun 2», производства ADANA CIMENTO SANAYII T.A.S. Fabrika ISKENDERUN-2.

Так как по результатам лабораторных испытаний было установлено, что щебень из карьеров «Хэджеге» и «Ченгиз» не соответствуют требованиям к сырьевым материалам для производства СУБС и бетонов класса по прочности В35 и выше, то в качестве крупного плотного заполнителя применялся базальтовый щебень месторождения близ г. Конья (Турецкая Республика).

Также отметим, что первые подборы составов бетонов и макетирования производились с применением базальтов. Но, исходя из высоких рисков реакционной способности заполнителя, требований по проведению длительных испытаний по коррозионной стойкости, исходя из принципов эквивалентных характеристик и наличия на территории строительства атомной станции известнякового карьера «Cengiz», принято решение об использовании отсева дробления 0-4 мм и щебня фракций 4-11 и 11-22 мм данного карьера.

В качестве мелких заполнителей применялись:

– отсев дробления известняка, фракция 0–4 мм, производства «H.C.G. INSAAT VE TICARET ANONIM SIRKETI»;

– песок кварцевый, фракция 0–1 мм, производства «DENKA YAPI ONARIM İNŞAAT MADENCİLİK AKARYAKIT NAKLİYAT TURİZM SANAYİ VE TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ»;

– песок кварцевый, фракция 1–3 мм, производства «DENKA YAPI ONARIM İNŞAAT MADENCİLİK AKARYAKIT NAKLİYAT TURİZM SANAYİ VE TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ.».

В качестве химических добавок применялись гиперпластификаторы на основе поликарбоксилатных эфиров «Rheoplast PCE3240» и «Rheoplast PCE3241», производства ООО «Реопласт».

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633 минимальный расход цемента, ввиду отсутствия требований в проекте к классам эксплуатации конструкций, на начальном этапе был установлен на уровне 150 кг/м^3 при условии подтверждения проектных требований по плотности и водонепроницаемости. Однако расход цемента был увеличен до 170 кг/м^3 для соответствия требованию класса эксплуатации XS1 [СП 28.13330.2017] с учетом применения шлака, так как объект находится в береговой зоне Средиземного моря, с учетом требования TS EN.

В расчет минимально требуемого количества цемента для разных классов экспозиции принимается только расход, не превышающий расход цемента. Если шлак превышает расход цемента, считается с k=0, т.е. превышающий шлак учитывается, как инертный микронаполнитель.

Пример: 150 кг цемента и 300 кг шлака. В расчет берем только 150 кг шлака, равного расходу цемента с коэффициентом k=0,8 (150×0,8=120 кг) 150+120=270 кг. Смотрим по таблице (TS13515), чему удовлетворяет 270 кг цемента — выходит XC1. Для удовлетворения XS1 требуется минимум 167 кг цемента CEM I и столько же шлака.

Далее, по требованию НИИЖБ, с целью возможного повышения коррозионной стойкости бетона, высказано предложение об увеличении минимального расхода цемента до 230 кг. Национальный стандарт Турецкой Республики TS 13515:2019 (дополнительный стандарт для применения негармонизированного EN 206:2013 + A1 на территории Турецкой Республики), в дополнение к европейскому, при использовании цемента ЦЕМI допускает применение в расчетах k-фактора для молотого гранулированного шлака, равного 0,8 (в EN206-0,6), что соответствует увеличению расчетного расхода активной минеральной добавки в композиционном вяжущем, при расходе цемента до 184 кг/м^3.

Так как сооружения АЭС находятся в непосредственной близости от берега Средиземного моря, необходимо предусмотреть воздействие на бетон железобетонных конструкций следующих агрессивных факторов:

– действие грунтов, содержащих растворимые соли, сульфаты и хлориды;

– действие подземных вод;

– действие влажного воздуха;

– действие аэрозолей морских солей.

В соответствии с требованием п. 4.7.10 ГОСТ 26633-2015 в качестве крупного заполнителя бетона классов по прочности на сжатие В60 и выше следует применять щебень из плотных горных пород по ГОСТ 8267 марки по дробимости не ниже 1200. Содержание зерен слабых пород в щебне для бетона классов В60 и выше не должно превышать 5 % массы.

Согласно требованиям проектной документации, на АЭС «Аккую» в требованиях к крупному заполнителю на СУБ указано:

– форма зерен должна быть кубовидная, содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не должно превышать 35 %;

– содержание пылевидных и глинистых частиц не должно превышать 1 %, допускается большее содержание пылевидных частиц при условии подтверждения этого лабораторными испытаниями бетона;

– содержание зерен слабых пород — не более 5 %.

Рентгенофлуоресцентный анализ осуществлялся на спектрометре ARL Perform′x 4200C («Термо», США). Материал анода рентгеновской трубки — родий, атмосфера — вакуум. Обработка полученных данных проводилась с помощью программного обеспечения UniQuant компании Thermo Scientific.

Результаты исследования. Все сырьевые материалы, представленные в таблице 1, были проанализированы методом рентгенофлуоресцентного анализа для определения их оксидного состава. Данные результатов испытаний приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Данные результатов рентгенофлуоресцентного анализа по определению оксидного состава

Образцы	Содержание оксидов, %											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	Cl
CEM III 42,5N Adana	23±1	6,7± 0,7	2,0± 0,2	52±1	3,2± 0,3	3,9± 0,4	–	0,77± 0,08	0,52± 0,05	0,53± 0,05	0,056± 0,006	0,027± 0,003
CEM I 42,5 R Medcem	18±1	4,1± 0,4	3,5± 0,3	68±1	3,5± 0,3	1,3± 0,1	–	0,68± 0,07	0,050± 0,005	0,37± 0,04	0,041± 0,004	0,016± 0,002
CEM I 52,5 N Medcem	18±1	4,2± 0,4	3,5± 0,3	68±1	3,7± 0,4	1,3± 0,1	0,07± 0,01	0,74± 0,07	0,042± 0,004	0,38± 0,04	0,056± 0,006	0,017± 0,002
Песок кварцевый Мк=2,45 «Гюрсель»	13±1	1,6± 0,2	1,7± 0,2	44±1	0,08± 0,01	6,4± 0,6	0,19± 0,02	0,18± 0,02	0,043± 0,004	0,11± 0,01	0,050± 0,005	0,007± 0,001
Песок кварцеый «Мутлу-Бетон»	16±1	1,8± 0,2	1,9± 0,2	40±1	0,052± 0,005	7,2± 0,7	0,12± 0,01	0,19± 0,02	0,047± 0,005	0,11± 0,01	0,060± 0,006	0,009± 0,001
Известняк местор-я «Хэджеге»	0,50± 0,05	0,32± 0,03	0,07± 0,01	63±2	0,022± 0,002	0,58± 0,06	–	0,026± 0,003	–	0,014± 0,001	0,018± 0,002	0,010± 0,001
Известняк местор-я «Озалтын»	0,46± 0,05	0,30± 0,03	0,15± 0,02	40±1	0,077± 0,008	17±1	0,20± 0,02	0,020± 0,002	0,005± 0,001	0,010± 0,001	0,010± 0,001	0,020± 0,002
Шлак доменный «Эскандерун 2»	30±1	9,2± 0,9	0,86± 0,08	33±1	1,6± 0,2	5,0± 0,5	0,18± 0,02	0,62± 0,06	0,82± 0,08	0,46± 0,05	0,018± 0,002	0,003± 0,001
Базальт местор-я «Конья»					0,073± 0,007							

Таблица 5

Данные результатов рентгенофлуоресцентного анализа по определению оксидного состава

Образцы	Содержание оксидов, %											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	F	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	TiO_2	P_2O_5	Cl
Базальт местор-я «Измир №1»	54±2	16±1	6,0±0,6	7,3± 0,7	0,24± 0,04	1,9± 0,2	2,2± 0,2	2,7± 0,3	0,11± 0,01	0,70± 0,07	0,23± 0,02	0,067± 0,006
Базальт местор-я «Измир №3»	53±2	15±1	6,1±0,6	7,4± 0,7	0,21± 0,04	2,1± 0,2	2,2± 0,2	2,8± 0,3	0,11± 0,01	0,69± 0,07	0,22± 0,02	0,059± 0,006
Базальт местор-я «Конья»	58±2	18±1	6,4±0,6	5,8± 0,6	0,22± 0,04	0,43± 0,04	2,7± 0,3	2,7± 0,3	0,10± 0,01	0,73± 0,07	0,34± 0,03	0,016± 0,002
Мука базальтовая «Измир №3»	55±2	16±1	5,5±0,6	7,1± 0,7	0,21± 0,04	1,9± 0,2	2,5± 0,3	2,4± 0,2	0,10± 0,01	0,61± 0,06	0,26± 0,03	0,041± 0,004

На основании имеющихся ограничений и по итогам лабораторных апробаций были разработаны следующие составы бетонных смесей (см. таблицы 6-8).

Таблица 6

Экспериментальные лабораторные составы бетонных смесей

Маркировка состава	Назначение бетонной смеси	Цемент CEM I 42,5 R Medcem кг/м^3	Зола Isken, кг/м^3	Вода, кг/м^3	Песок известняковый из отсева дробления (Мкр=2,76), HCG, кг/м^3	Щебень известняковый, фракция 4-12 мм, HCG, кг/м^3	Щебень известняковый, фракция 12-22 мм, HCG, кг/м^3	Супер-р PCE3240, % от массы вяжущего	V вовлеченного воздуха, %
БСТ В7,5W4П4	Рядовые конструкции	180	80	180	1123	363	382	0,90	1,50
БСТ В10W4П4		190	70	180	1125	364	383	0,90	1,50
БСТ В15W4П4		210	50	180	1129	365	384	0,90	1,50
БСТ В20W4П4		240	30	180	1128	365	384	0,90	1,50
БСТ В20W8П4		240	50	175	1121	363	382	0,95	1,50
БСТ В25W4П4		280	30	175	1115	361	380	0,95	1,50
БСТ В25W6П4		280	40	175	1108	359	377	0,95	1,50
БСТ В20W6П4	Рядовые конструкции, подбетонка	240	70	175	1102	318	413	0,95	1,50
БСТ В25W8П4		280	50	175	1095	316	410	0,95	1,50

Таблица 7

Экспериментальные лабораторные составы бетонных смесей

Маркировка состава	Назначение бетонной смеси	Цемент CEM I 42,5 N Medcem, кг/м^3	Шлак ISKENDERUN 2, кг/м^3	Вода, кг/м^3	Песок известняковый из отсева дробления (Мкр=2,76), HCG, кг/м^3	Песок речной DEN-KA (Hibilli, Мкр=1,7), кг/м^3	Щебень базальтовый Kozagac, Конья, фракция 5-12, кг/м^3	Щебень базальтовый Kozagac, Конья, фракция 12-22, кг/м^3	Супер-р PCE3240, % от массы вяжущего	Супер-р PCE3241, % от массы вяжущего	V вовлеченного воздуха, %
БСТ В30W4П4	Особо ответственные конструкции	150	185	165	609	258	502	485		1,40	0,50
БСТ В30W6П4		150	190	165	607	258	501	484		1,40	0,50
БСТ В30W8П4		150	195	165	606	257	500	483		1,40	0,50
БСТ В40W6П4		150	250	160	572	232	486	506		1,35	1,00
БСТ В40W6SF2		150	300	160	575	418	758	–	1,80		1,50
БСТ В50W6П4		150	280	155	568	231	483	502		1,45	1,00
БСТ В60W6П4		170	280	150	566	230	482	501		1,55	1,00
БСТ В60W10П4		170	280	150	566	230	482	501		1,55	1,00
БСТ В30W10П4	Фундаментная плита	150	195	165	606	257	500	483	–	1,40	1,00
БСТ В30W10П4		300	150	175	567	241	467	452	0,90	–	1,00
БСТ В30W6SF2, БСТ В30W10SF2		150	300	165	571	415	753	–	1,65	–	1,00
БСТ В60W10SF2	Контурные стены здания	170	280	155	558	401	791	–	791	–	1,50

Таблица 8

Экспериментальные лабораторные составы бетонных смесей

Маркировка состава	Назначение бетонной смеси	Цемент CEM I 42,5 N Medcem, кг/м^3	Вода, кг/м^3	Песок известняковый из отсева дробления (Мкр=2,76), HCG, кг/м^3	Щебень известняковый, фракция 4-12 мм, HCG, кг/м^3	Щебень известняковый, фракция 12-22 мм, HCG, кг/м^3	Супер-р PCE3240, % от массы вяжущего	В.В. Добавка "Реопласт ВВ-1", % от массы цемента	V вовлеченного воздуха, %
БСТ В25W8F200П4	Рядовые конструкции	350	165	1021	371	428	0,95	0,2	4,00

В связи с тем, что завод Medcem в начале строительства был не готов выпустить необходимое количество цемента ЦЕМI 42,5Н с нормируемым минералогическим составом и ограничениями по тонкости помола, то для бетонирования бетонных подготовок под фундаментные плиты зданий разработаны и апробированы составы с применением цемента Medcem ЦЕМI 42,5R.

Для бетонирования макета и фундамента здания на 1-м этапе разработаны 2 варианта составов бетона с нормальным и пониженным тепловыделением с расходами клинкерного портландцемента 300 кг и 150 кг соответственно. Далее в процессе работы с учетом факторов, описанных выше, принят расход цемента на уровне 170 кг.

Для фундаментных плит зданий разработан и апробирован самоуплотняющийся бетон с пониженным тепловыделением.

Для контурных стен здания реактора, с учетом результатов апробации составов бетона, разработан самоуплотняющийся бетон с пониженным тепловыделением.

Расходы материалов по всем составам уточнены по итогам новых лабораторных замесов с учетом изменения качества сырьевых материалов и результатов промышленных апробаций.

Однако представленные лабораторные составы в производстве могут подвергаться корректировке при изменении качественных показателей сырьевых материалов и особенностей работы разных бетоносмесительных установок.

В процессе работы на объекте, исходя из фактических задач и ситуации, наличия и возможности поставки материалов, процесса согласования карт подбора и т.д. разработаны 5 итераций составов. В обобщенном виде принципиально это выглядит следующим образом:

– изначально принято, что бетоны классов В30 и выше применяются для ответственных массивных конструкций, соответственно имеется ограничение по температуре в ядре конструкции, и составы для таких бетонов разработаны по концепции 150 кг (170 кг) цемента плюс молотый доменный гранулированный шлак. Для многих таких бетонов проектная прочность задана в возрасте 90 суток. В качестве заполнителя использован природный песок, отсев дробления и щебень карьеров Ченгиз, в качестве вяжущего – композит цемента CEM I 42,5N завода Medcem и молотый доменный гранулированный шлак.

– рядовые бетоны классов В7,5-В25 изготовлены на отсеве дробления и щебне карьера «HCG», без природного песка, на композите вяжущего CEM I 42,5R (без ограничения по минимальному расходу) и золы-уноса. В качестве ориентиров по выбору расхода цемента и общего содержания вяжущего – требования по достижению прочности и водонепроницаемости.

– далее, для минимизации номенклатуры применяемых материалов, для всех бетонов перешли на применение природного песка «DEN-KA», отсева и щебней фракций 4-11 и 11-22 производства «Cengiz», цемента CEM I 42,5N и молотого доменного граншлака «Искендерун-2».

Обсуждение и заключения. Таким образом, по результатам данного исследования были выполнены все поставленные задачи, а именно:

1) проведен анализ рынка сырьевых материалов для производства бетонных смесей и сформирован их перечень;

2) проведены лабораторные исследования потенциальных для изготовления бетонных смесей сырьевых материалов и определены их фактические физико-механические характеристики;

3) определен перечень основных компонентов, отвечающих нормам атомной энергетики и требованиям российской, европейской и турецкой нормативно-технической базы;

4) разработаны лабораторные составы бетонных смесей с классификацией по их назначению.

Дальнейшая перспективность данного исследования заключается в макетировании опытных блоков (сегмент фундаментной плиты здания, сегмент контурной стены) с апробацией разработанных составов самоуплотняющихся бетонных смесей. А также предполагается подтверждение соответствия подобранных составов бетона задачам бетонирования массивных блоков в условиях высоких температур наружного воздуха и получение данных объективного контроля распределения температуры по объему бетона во времени, в том числе, с целью использования их при расчете терм напряжённого состояния конструкций.

Библиографический список

1. An intelligent model for the prediction of the compressive strength of cementitious composites with ground granulated blast furnace slag based on ultrasonic pulse velocity measurements/ S. Czarnecki, M. Shariq, M. Nikoo, Ł. Sadowski // Measurement. — 2021. — Vol. 172, No. 108951. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108951

2. End-of-Life Materials Used as Supplementary Cementitious Materials in the Concrete Industry/ A.I. Nicoara, A.E. Stoica, M. Vrabec [и др.] // Materials. – 2020. – Vol. 13, No 1954. https://doi.org/10.3390/ma13081954

3. Predicting the compressive strength of concrete with fly ash admixture using machine learning algorithms/ H. Song, A. Ahmad, F. Farooq [и др.]// Construction and Building Materials. — 2021. — Vol. 308, No. 125021. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125021

4. Recycling Aggregates for Self-Compacting Concrete Production: A Feasible Option / R. Martínez-García, M.I. Guerra-Romero, J.M. Morán-del Pozo [и др.] // Materials. — 2020. — Vol. 13, No. 868. https://doi.org/10.3390/ma13040868

5. Microstructure and Fresh Properties of Self-compacting Concrete with Recycled Sand / D. Carro-López, B. González-Fonteboa, F. Martínez-Abella [и др.] // Procedia Engineering. — 2017. — Vol. 171. — P. 645–657. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.401

6. Mechanical Performance Evaluation of Self-Compacting Concrete with Fine and Coarse Recycled Aggregates from the Precast Industry / S.A. Santos, P.R. Da Silva, J. De Brito // Materials. — 2017. — Vol. 10, No. 904. https://doi.org/10.3390/ma10080904

7. Durability of self-compacting concrete made with recovery filler from hot-mix asphalt plants / A.R. Esquinas, J.I. Álvarez, J.R. Jiménez [и др.] // Construction and Building Materials. — 2018. — Vol. 161. — P. 407–419. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.142

8. Effect of red mud (bauxite residue) as cement replacement on the properties of self-compacting concrete incorporating various fillers / M. Ghalehnovi, N. Roshan, E. Hakak ets. // Journal of Cleaner Production. — 2019. — Vol. 240, No. 118213. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118213

9. Flexural strengthening of damaged RC T-beams using self-compacting concrete jacketing under different sustaining load / X. Zhang, Y. Luo, L. Wang [и др.] // Construction and Building Materials. — 2018. — Vol. 172. — P. 185–195. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.245

10. Rehabilitation of Shear-Damaged Reinforced Concrete Beams Using Self-Compacting Concrete Jacketing / C. E. Chalioris, C. N. Pourzitidis // ISRN Civil Engineering. — 2012. — Vol. 2012. https://doi.org/10.5402/2012/816107

11. Numerical Modelling and Bearing Capacity of Reinforced Concrete Beams / O. Sucharda, J. Brozovsky, D. Mikolášek // Key Engineering Materials. — 2013. — Vol. 577–578. — P. 281-284. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.577-578.281

12. An intelligent model for the prediction of the compressive strength of cementitious composites with ground granulated blast furnace slag based on ultrasonic pulse velocity measurements / S. Czarnecki, M. Shariq, M. Nikoo, Ł. Sadowski // Measurement. — 2021. — Vol. 172, No. 108951. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108951

13. Mechanical properties of reactive powder concrete containing high volumes of ground granulated blast furnace slag / H. Yazıcı, M. Y. Yardımcı, H. Yiğiter [и др.] // Cement and Concrete Composites. — 2010. — Vol. 32, No. 8. — P. 639–648. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.07.005

14. Properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) at elevated temperatures / R. Siddique, D. Kaur // Journal of Advanced Research. — 2012. Vol. 3, No 1. — P. 45–51. https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.03.004

15. Experimental analysis of properties of recycled coarse aggregate (RCA) concrete with mineral additives / Ö. Çakır // Construction and Building Materials. — 2014. — Vol. 68. — P. 17–25. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.032

16. Experimental study on the engineering properties of alkali-activated GGBFS/FA concrete and constitutive models for performance prediction / X. Cong, W. Zhou, M. Elchalakani // Construction and Building Materials. — 2020. — Vol. 240, No 117977. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117977

17. Creep and drying shrinkage of concrete containing GGBFS / M. Shariq, J. Prasad, H. Abbas // Cement and Concrete Composites. — 2016. — Vol. 68. — P. 35–45. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.004

18. Несветаев, Г. В. Самоуплотняющиеся бетоны: прочность и проектирование состава / Г. В. Несветаев, А. Н. Давидюк // Строительные материалы. — 2009. — № 5. — С. 54–57.

19. Баженов, Ю. М. Современная технология бетона / Ю. М. Баженов // Технологии бетонов. — 2005. — № 1. — С. 6–8.

Поступила в редакцию 16.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Развеева Ирина Федоровна — старший преподаватель кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, razveevai@mail.ru

Иванченко Сергей Анатольевич, компания «Реопласт», Донской государственный технический университет (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), sergey.ivanchenko@rheoplast.ru

Бондаренко Иван Владимирович — студент Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), i.bondarenko@eucrst.com

Котенко Мария Павловна — студент Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, maria.kotencko2016@yandex.ru

Федчишена Анастасия Анатольевна — студент Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), afedchishena@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

И.Ф. Развеева, С.А. Иванченко — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов. И.В. Бондаренко, М.П. Котенко, А.А. Федчишена — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.





УДК 69.003.12
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-34-44

Научная статья



Формирование достоверной стоимости инвестиционно-строительного проекта на стадии разработки проектной документации

Т. Н. Макарцова ✉, **А. И. Кравченко**, **М. А. Шипилова**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ makarcova@mail.ru

Аннотация

Введение. Рассматривается механизм формирования достоверной стоимости инвестиционно-строительного проекта на стадиях жизненного цикла. На стоимость проекта влияют различные составляющие: правильно разработанный проект, метод расчета стоимости, выбор поставщиков и подрядчиков, сроки строительства и т.д. Основой всех расчетов является сметная стоимость проекта, рассчитанная на этапе проектирования.

Материалы и методы. Совершенствованием определения сметной стоимости строительства на стадии проектирования является полный переход на ресурсный метод. Главной проблемой на этом пути является отсутствие единой базы, где можно было бы увидеть стоимость ресурсов в текущем уровне цен для каждого региона. Предлагаемым решением является делегирование исполнения функций Минстроя РФ по наполняемости базы ФГИС ЦС регионам России.

Результаты исследования. Переход на ресурсный метод позволит регионам владеть информацией о достоверной проектной стоимости объектов, строительство которых запланировано на ближайшие годы. Увеличение объема типового проектирования позволит решать ряд вопросов в управлении стоимостью на этапе проектирования. Проекты, которые хорошо себя зарекомендовали, могут быть использованы неоднократно ввиду того, что отработаны все возможные ошибки, предлагаемые решения проверены на построенных объектах. Применение типовых проектов позволит готовить и согласовывать проектную документацию гораздо быстрее. Сократятся сроки проектирования и в процессе строительства не возникнет дополнительных вопросов. Повышению качества проектов способствует применение технологий информационного проектирования.

Обсуждение и заключение. Предложенные авторами механизмы позволят повысить качество проектов, сократить стоимость и сроки проектных работ, дадут возможность определения достоверной стоимости строительства на этапе проектирования, которая является основой для определения объема инвестирования и расчета стоимости объекта на этапах планирования и реализации проекта.

Ключевые слова: инвестиционно-строительный проект, жизненный цикл, управление стоимостью, методы управления, проектирование, технологии информационного моделирования.

Благодарности. Авторы выражают благодарность редакции и рецензентам за внимательное отношение к статье и указанные замечания, которые позволили значительно повысить качество настоящей статьи.

Для цитирования. Макарцова, Т. Н. Формирование достоверной стоимости инвестиционно-строительного проекта на стадии разработки проектной документации / Т. Н. Макарцова, А. И. Кравченко, М. А. Шипилова // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 1. — С. 34–44
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-34-44

Original article

Credible Cost Formation of a Construction Investment Project at the Stage of Design Documentation Development

Tatiana N. Makartsova ✉, **Anastasia I. Kravchenko** , **Maria A. Shipilova**

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ makarcova@mail.ru

Abstract

Introduction. The credible cost formation mechanism of a construction investment project's life cycle stages is considered. The cost of the project depends on diverse components: the duly designed project, the cost calculation method, the choice of suppliers and contractors, the construction time frame, etc. All calculations are based on the estimated cost of the project made at the design stage.

Materials and methods. Transition to the input costing method turns to be an advancement in determining the estimated cost of construction at the design stage. The main problem here is the lack of a unified database providing the data on the cost of resources at the current price level for each region. The proposed solution is transferring the functions of replenishing the Federal State Information System of Pricing in Construction (ФГИС ЦС) database from the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation to the regions of Russia.

Results. The transition to the input costing method will allow the regions to hold the information on the credible estimated cost of facilities planned to be built in the forthcoming years. The increasing amount of standard design projects will enable solving a number of cost management issues at the design stage. The projects that proved to be successful can be reused many times because all possible errors were debugged, the proposed solutions were tested on the facilities already built. The use of the standard design projects will allow to prepare and verify the project design documentation quicker. The time assigned for designing will reduce and no additional questions will arise in the process of construction. The application of information modeling technologies fosters the projects' quality enhancement.

Discussion and conclusion. The mechanisms proposed by the authors will enable projects' quality enhancement, reduce the cost and timing of design works, as well as make it possible to determine the credible cost of construction at the design stage, which is the basis for determining the volume of investment and calculating the cost of a facility at the stages of planning and implementation of the project.

Keywords: construction investment project, life cycle, cost management, management methods, design, information modeling technologies

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the editors and reviewers for their attentive attitude to the article and the comments made, which allowed to substantively improve the quality of the present article.

For citation. T. N. Makartsova, A. I. Kravchenko, M. A. Shipilova. Credible Cost Formation of a Construction Investment Project at the Stage of Design Documentation Development. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 34–44 https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-34-44

Введение. Управление стоимостью инвестиционно-строительного проекта охватывает все стадии его жизненного цикла, начиная от задуманных проектных решений, заканчивая вводом объекта в эксплуатацию [1–3]. На стоимость проекта влияет каждая его составляющая: правильно разработанный проект, метод расчета

стоимости, выбор поставщиков и подрядчиков, сроки строительства и т.д. В данный период времени не существует идеально отработанной схемы управления стоимостью проекта, учитывающей все влияющие факторы.

Материалы и методы. Минстрой с 2016 года проводит реформы в сфере ценообразования, стремится применить методики по определению достоверной стоимости строительства, решить проблемы экономического кризиса, влияющие на сферу отрасли, улучшить решения, принятые на сегодняшний день, убрать неактуальные методики [2, 3].

За шесть лет реформ произведена колоссальная работа. Однако цели, поставленные в самом начале, еще не достигнуты. Минстрой ставил задачи по переходу к ресурсному методу расчета стоимости строительства и полноценному применению информационного моделирования, что должно было обеспечить определение достоверной стоимости [5, 6].

Сметная стоимость строительства, финансируемого с привлечением средств бюджетной системы Российской Федерации, определяется с обязательным применением сметных цен строительных ресурсов и сметных нормативов, сведения о которых включены в федеральный реестр [7].

В качестве рассматриваемого примера расчета стоимости строительства принят фрагмент конструкций железобетонного каркаса здания.

Для проведения анализа стоимости строительства монолитных конструкций здания рассмотрены сметные расчеты, составленные тремя разными методами, предусмотренными методическими документами Минстроя РФ, а именно, базисно-индексным, ресурсным и ресурсно-индексным.

Основными факторами, влияющими на определение достоверной сметной стоимости строительства, является точное определение объемов работ, а также правильное применение сметных норм [11]. Для анализа методов расчета необходимо выбрать эталон, относительно которого можно судить о достоверности стоимости. Данные приведены на рис. 1. В рассмотренном случае в качестве эталона выбран ресурсный метод, так как он составлен в текущих ценах Ростовской области с учетом цен местных производителей и средней заработной оплаты труда.

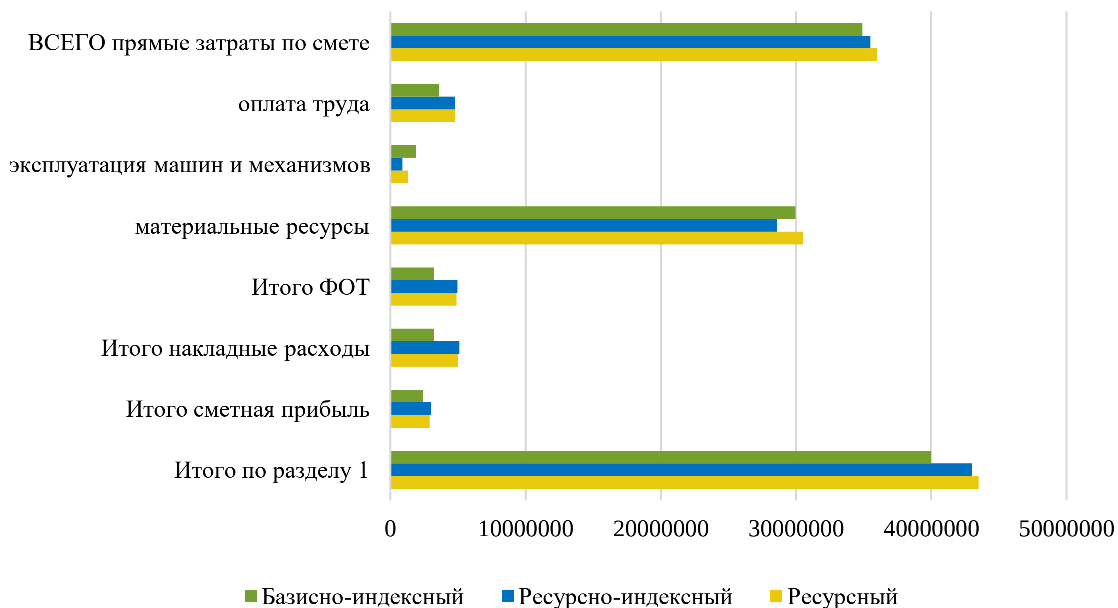


Рис. 1. Диаграмма сравнения показателей сметной стоимости, рассчитанной разными методами (рисунок авторов)

Для начала рассмотрим каждый показатель по отдельности. Оплата труда в ресурсном и ресурсно-индексном методе выше, чем в базисно-индексном. Это значит, что при расчетах базисно-индексным методом не учтены среднестатистические данные заработной платы Ростовской области и выведенные коэффициенты не соответствуют действительным цифрам.

Эксплуатация машин и механизмов самая высокая в базисно-индексном методе, что может говорить о том, что стоимость рассчитана с учетом обслуживания машин, ремонта, энергоносителей и т.д. При расчете ресурсным методом в стоимость эксплуатации машин включается стоимость аренды от местных компаний. Все обслуживание они берут на себя. Получившаяся экономия играет незначительную роль в управлении стоимостью эксплуатации машин.

Стоимость материалов при ресурсном методе самая высокая. Это говорит о том, что стоимости, рассчитанные статистическим методом с учетом коэффициентов инфляции, территориальных и климатических условий, указанные в сборниках федеральных сметных цен, не отражают действительных стоимостей, существующих на рынке. Ресурсный метод является достоверным исходя из того, что стоимость строительных ресурсов учтена по текущим ценам региона [9].

Результаты исследования. Для определения достоверной стоимости строительства на этапе проектирования необходимо разработать механизмы по совершенствованию управления стоимостью строительства, а именно:

– полноценный переход к ресурсному методу расчета стоимости строительства;

– применение типовых проектов для объектов инфраструктуры;

– применение информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объекта.

Для определения достоверной стоимости строительства необходимо перейти на ресурсный метод расчета, отражающий фактические затраты достовернее всего, ввиду того, что расчет происходит в текущем уровне цен с учетом стоимости местных материалов и ресурсов [8, 10].

Главной проблемой, из-за которой все специалисты отрасли не могут перейти к данному методу расчета, является отсутствие единой базы, в которой были бы указаны стоимости материально-технических и трудовых ресурсов в текущем уровне цен для каждого региона.

В разработанной методике Минстроя РФ такой базой должна выступать платформа ФГИС ЦС, зарегистрированная 30 сентября 2017 года. Однако до настоящего времени она не заполнена и сведения о ценах на используемые строительные ресурсы отсутствуют. Постоянный перенос сроков полноценного перехода на ресурсный метод связан именно с отсутствием наполняемости базы. Следствием являются постоянные проблемы с финансированием проектов из-за неточностей в расчетах [13].

Решением данной проблемы является делегирование обязанностей Минстроя РФ по наполняемости базы ФГИС ЦС регионам России. После заполнения базы нужно будет производить мониторинг цен и регулировать их значения в системе. Если каждый регион возьмет эту ответственность на себя, то заполнять и вести общую базу станет гораздо проще.

Например, страна Беларусь (по площади как две Ростовской области) применяет с 2014 года ресурсный метод расчета. Для мониторинга стоимости ресурсов создана платформа, в которой отражены действительные стоимости ресурсов.

С учетом размеров нашей страны, решение переложить на регионы мониторинг цен и заполняемость базы должно принести хорошие результаты. Делегирование обязанностей повлечет за собой создание структурного подразделения при областном Министерстве строительства по вопросам отраслевой системы мониторинга

и актуализации цен строительных ресурсов. Возможное наименование подразделения — «Региональный центр мониторинга цен материально-технических ресурсов в строительстве». Цель создания центра — получение на регулярной основе информации о стоимости строительных ресурсов для оценки и контроля стоимости строительства, отслеживание динамики изменения цен и прогнозирование в будущем временном периоде в рамках Ростовской области. Мониторинг цен в рамках одной области позволит оперативно и достоверно владеть информацией о состоянии цен на рынке.

Единая платформа может заполняться региональными центрами, что позволит органам исполнительной власти владеть информацией о ценах по стране в целом.

В задачи регионального центра будет входить:

– сбор информации об изменении отпускных цен на строительные материалы;

– регулярное наполнение базы строительных ресурсов актуальной номенклатурой и ценами;

– интеграция системы мониторинга цен строительных ресурсов в процесс контроля стоимостью и сроками;

– формирование открытой для участников инвестиционно-строительной деятельности базы по ценам ресурсов, используемых в проекте;

– соответствие формируемой системы Законодательству РФ и международным стандартам.

Внедрение отраслевой системы мониторинга и актуализации цен строительных ресурсов для строящихся объектов — это инструмент быстрого реагирования на изменения ценовых параметров проекта в условиях рыночного формирования цен на строительные ресурсы.

Процесс передачи функций по формированию единой базы данных текущих цен показан на рис. 2. Минстрой РФ передает обязательство по наполняемости базы, контролю и мониторингу цен в регионе непосредственно Министерству строительства Ростовской области, которое в свою очередь организует работу регионального центра мониторинга цен строительных ресурсов в области.

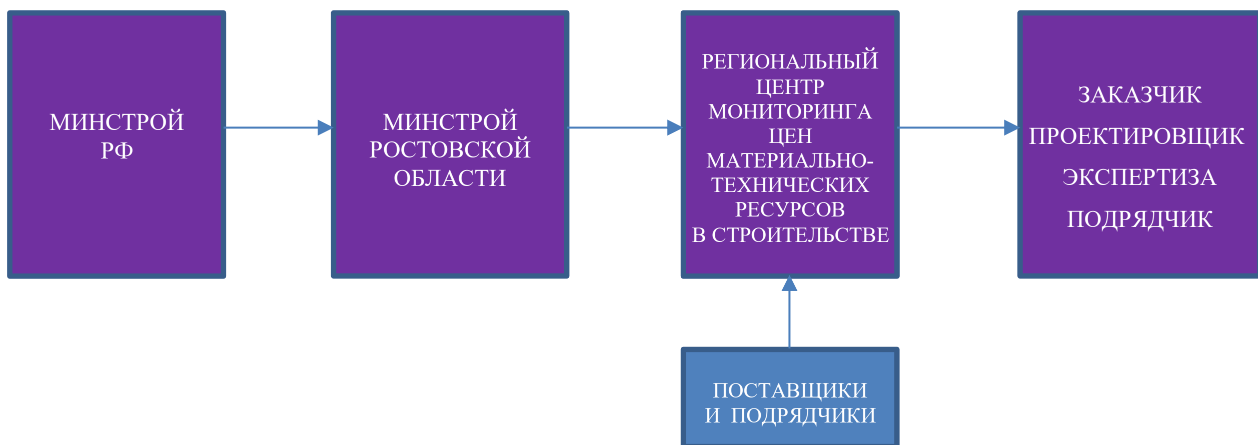


Рис. 2. Система комплексного регулирования мониторинга цен в Ростовской области (рисунок авторов)

Процесс мониторинга цен региональным центром должен содержать определенный алгоритм действий, на основании которого сотрудники будут формировать актуальные цены строительных ресурсов.

Работа центра будет регламентироваться постановлением правительства РФ от 23 декабря 2016 года №1452 «О мониторинге цен строительных ресурсов».

Исходными данными для работы специалистов мониторинга должна являться информация, предоставляемая местными поставщиками и подрядчиками. Прежде чем запустить полноценную работу платформы с актуальными ценами, необходимо провести подготовительный этап, который заключается в маркетинговом исследовании и анализе рынка строительной отрасли, выявлении потенциально значимых поставщиков строительной продукции. На основе данного анализа формируется база данных поставщиков и подрядчиков [10].

На подготовительной стадии создания платформы необходимо наладить контакты и схему взаимодействия поставщиков и регионального центра. Поставщики и подрядчики, готовые к сотрудничеству, должны предоставить полный перечень реализуемых материалов и услуг с указанием их стоимостей. В дальнейшем эти же поставщики должны предоставлять обновленные данные с учетом изменений рынка.

Мотивацией поставщиков для сотрудничества будет являться тот факт, что в итоговых сборниках текущих цен будут указаны данные о фирмах, предоставивших информацию, что явится бесплатной рекламой.

Задачи, поставленные перед центром на подготовительном этапе и в процессе работы платформы, выделены на рис. 3. После того, как сформируется необходимая база данных, региональный центр приступает к непосредственной работе над платформой, где задействованы специалисты из разных сфер.

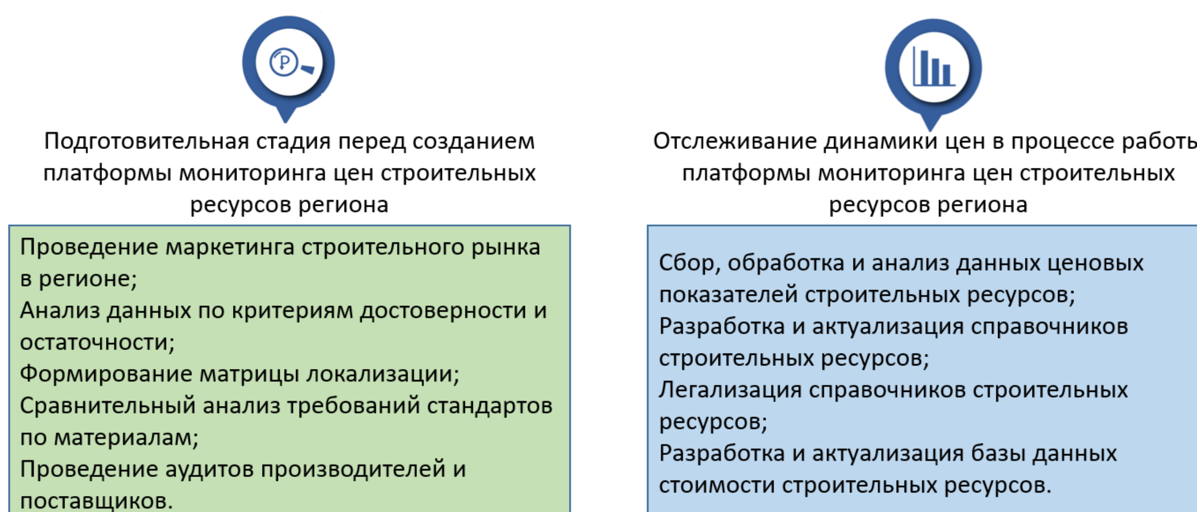


Рис. 3. Задачи регионального центра на подготовительном этапе и в процессе работы платформы мониторинга цен строительных ресурсов (рисунок авторов)

Работа центра без использования современных компьютерных технологий будет замедлять мониторинг цен и актуализацию информации на платформе. Для автоматизации действий и удобной передачи информации специалисты в сфере IT должны сформировать платформу, которая будет автоматически рассчитывать стоимость материалов в текущих ценах, мгновенно отражать изменения, вносимые специалистами, уведомлять всех заинтересованных специалистов [12].

Создание новой платформы занимает большое количество времени, а в процессе перехода на ресурсный метод расчета в сжатые сроки времени будет недостаточно. Решением ускорения создания платформы может послужить интегрирование уже имеющихся программ на рынке. Программа 1С российского производства подходит под требуемые задачи лучше всего. Применив данную программу, можно сократить трудозатраты на разработку платформы и увеличить производительность. IT-специалистам останется только настроить программу под нужды

центра, разработать алгоритмы расчета стоимости строительных ресурсов на основании методик центра, откорректировать пункт уведомлений и подключить необходимых специалистов к программе [13, 14].

Задача системы — выполнить расчет на всем объеме достоверной информации и в самый сжатый срок сформировать данные для внешних отраслевых систем и руководителей, принимающих соответствующие управленческие решения.

При необходимости формирования сметной стоимости в валюте для анализа цен в рамках мирового рынка программа должна произвести автоматическую интеграцию с данными Центробанка. Это позволит сравнивать уровень цен в регионе с ценами на внешнем рынке.

Для исключения ошибок в формировании средней сметной стоимости ресурсов в рамках экспертизы необходимо добавить процесс проверки. На стадии экспертизы исключатся вероятные ошибки, допущенные из-за человеческого фактора, проверится обоснованность цены со стороны поставщика, утвердятся итоговые результаты. После проверки экспертизой результаты могут быть опубликованы на региональной платформе, а самое главное — цены будут дублироваться на федеральной платформе ФГИС ЦС.

В соответствии с разработанным алгоритмом на базе Ростовской области появится центр мониторинга цен строительных ресурсов, который обеспечит информацией о текущих ценах ресурсов в пределах региона. Ростовская область сможет перейти на ресурсный метод расчета, не ожидая готовности остальных регионов. Применение типового проекта для объектов социальной сферы позволит решить ряд вопросов в управлении стоимостью на этапе проектирования. Проекты, зарекомендовавшие себя, могут быть применены неоднократно ввиду отсутствия в них возможных ошибок и верификации на уже построенных объектах. Основными объектами социальной сферы являются жилые дома, школы, детские сады, поликлиники. Применение типового проекта позволит подготовить и согласовать проектную документацию быстрее, сократятся сроки проектирования, в процессе строительства не возникнет дополнительных вопросов.

Применение типового строительства было популярно в период СССР. В постсоветский период заказчикам хотелось каждое свое здание сделать индивидуальным. В настоящее время идет возвращение к типовым проектам, но, чтобы строящиеся объекты в рамках одного города не сильно повторялись, необходимо иметь на балансе государства большое количество типовых проектов.

На данный момент Институт типового проектирования не полностью решает задачи повторного использования проектной документации. Кроме того, проектная документация, предполагаемая к признанию типовой, предполагает существование ранее введенного в эксплуатацию объекта капитального строительства, что также создает ограничения в рамках реализации механизма института типового проектирования.

Таблица 1

Преимущества и недостатки применения типовых проектов

	Преимущества	Недостатки
Внутренняя среда	– оптимизация затрат при планировании объекта; – снижение периода проектирования; – отсутствие требований по обязательной государственной экспертизе	– ограниченная возможность применения проектных решений для реализации, в условиях новой площадки
	Возможности	Угрозы
Внешняя среда	– применение ранее утвержденных и примененных решений; – наличие опыта эксплуатации	– авторские права на использование документации

Для решения указанных проблем необходимо расширить возможность подготовки проектной документации непосредственно федеральными органами исполнительной власти или подведомственными им учреждениями и организациями.

В частности, наделить Минстрой полномочиями по разработке, экспертизе, признанию и предоставлению типовой проектной документации в отношении социальных объектов, Минтранс — транспортной инфраструктуры, Минобороны — военной инфраструктуры.

Для создания и наполнения базы типовых проектов России подготовлена и представлена на рис. 4 схема организации по сбору и управлению типовыми проектами страны на примере Ростовской области.

На базе Ростовской области необходимо Министерствам строительства, транспорта и обороны организовать сбор проектов, которые возможно применять как типовые. Стимулированием для предоставления документов проектными организациями должно послужить то, что у каждого типового проекта будет указана информация о проектировщике. Это позволит заказчику обратиться за услугами именно к той организации, которая разработала проект, ведь она лучше всего знакома с ним. За счет этого у проектировщика увеличится количество заказов и прибыли.



Рис. 4. Организация по сбору и управлению типовыми проектами страны (рисунок авторов)

Критерии, которым должна соответствовать документация, следующие:

– объект капитального строительства (ОКС), строительство которого предусмотрено проектной документацией (ПД), введен в эксплуатацию;

– ПД получила положительное заключение государственной экспертизы ПД;

– ОКС, строительство которого предусмотрено ПД, имеет подтвержденный заключением государственной экспертизы класс энергетической эффективности не ниже класса «С», за исключением объектов, на которые не распространяются требования энергетической эффективности в соответствии с законодательством об энергосбережении и повышении энергетической эффективности.

В регионах сформируется своя база типовых проектов, готовых к применению. Для того, чтобы визуальное представление области не было однообразным, планируется применять типовые проекты из баз не только региона, но и всей России.

Критерии, на основании которых может быть применен типовой проект на определённом участке строительства, должны соответствовать следующим условиям:

– назначение проектируемого объекта капитального строительства соответствует назначению объекта капитального строительства, применительно к которому применяется типовой проект.

– мощность типового проекта соответствует мощности объекта капитального строительства (допустимое отклонение значения составляет не более 10 %).

– природные условия территории, на которой планируется осуществлять строительство (климатический район и подрайон, ветровой район, снеговой район, интенсивность сейсмических воздействий, инженерно-геологические условия) типового проекта, соответствуют природным условиям территории, на которой расположен объект капитального строительства.

В типовом проекте должна быть вся документация, прошедшая экспертизу, в том числе смета проекта с указанием даты расчета. На основании сметы проекта заказчик сможет сразу оценить свои возможности по реализации объекта.

При применении типовой документации на этапе экспертизы прежде всего проверяется возможность применения данного проекта на новом участке строительства, затем проходят проверку разделы, измененные под условия стройплощадки.

Проект, выполненный с помощью ТИМ-программ, уменьшает вероятность совершения ошибок в процессе проектирования. Информационное моделирование позволяет в одной модели выполнить как архитектурные и конструктивные решения, так и инженерные системы, что позволяет на ранней стадии увидеть все несоответствия между разделами. Помимо нахождения коллизий, информационное моделирование ускоряет сам процесс проектирования, так как многие механические процессы выполняются полуавтоматически. Информационную модель в дальнейшем можно использовать на всех стадиях жизненного цикла, что сокращает время на отработку многих задач [13].

Минстрой РФ издал приказ, что с 1 января 2022 года все проекты, выполняемые за счет бюджетных средств, должны быть запроектированы с помощью информационной модели. Казалось бы, что вопрос с внедрением ТИМ должен быть решен, но страна сталкивается с трудностями в его внедрении. Опытные взрослые проектировщики не хотят переучиваться в новых программах, небольшие фирмы не могут себе позволить корпоративное обучение. В Москве процесс внедрения можно считать почти законченным, 80 % проектных институтов используют ТИМ отечественного или импортного производства. А в регионах, зачастую, процесс внедрения возложен на неопытных сотрудников, которые еще не владеют достаточным опытом в проектировании, но имеют огромное желание работать и развивать сферу проектирования [4].

В качестве совершенствования внедрения информационного моделирования необходимо в рамках всей страны продолжать дистанционное обучение специалистов, которое проводит Минстрой РФ и не переносить сроки обязательного применения. Правильно выполненная информационная модель ускоряет работу на всех этапах жизненного цикла объектов строительства, что влияет на управление стоимостью инвестиционно-строительных проектов.

Правильно организованный процесс контроля качества на этапе проектирования информационной модели позволит на 80 % улучшить управление стоимостью на всех этапах жизненного цикла.

Исполнителями контроля качества являются руководители: главный архитектор проекта, главный инженер, главный сметчик. Они проверяют соответствие информационной модели стандартам проектирования, техническому заданию и наполняемости проекта.

Нормоконтролер отвечает за соответствие стандартам, нормам и правилам строительства, в том числе стандартам информационного моделирования. ТИМ-менеджер является основным звеном в информационном моделировании, так как он настраивает принципы и алгоритмы работы проектировщиков, программный комплекс под задачи конкретной фирмы, контролирует процесс правильности создания модели, а также участвует в поиске коллизий. От его работы будет зависеть итоговый результат и дальнейшее применение модели на следующих стадиях жизненного цикла.

Обсуждения и заключения. Переход на ресурсный метод позволит Ростовской области владеть информацией о достоверной стоимости проектов объектов инфраструктуры, строительство которых запланировано на ближайшие годы. Это поможет распределить бюджет грамотно и достоверно.

Использование типовых проектов позволит сократить сроки проектирования и экспертизы, что поможет уменьшить стоимость проектирования. Сократится количество ошибок, совершенных на этапе проекта. Это позволит на стадии реализации минимизировать затраты на устранение ошибок.

Точность и полнота информации ТИМ-модели обеспечивает надежные информационные данные для выполнения расчетов достоверной стоимости строительства, а затраты на этапах реализации и приемки работ снижаются.

Предложенные механизмы формирования достоверной сметной стоимости строительства на этапе проектирования позволят сократить сроки проектирования, уменьшить количество ошибок в проекте и определить достоверную стоимость строительства на этапе проектирования.

Библиографический список

1. Соболева, Е. А. Особенности развития проектной деятельности инвестиционно-строительного комплекса: детализация и перспективы : монография / Е. А. Соболева, В. П. Луговая. — Москва : НИУ МГСУ, 2016. — 160 с.

2. Перехрестюк, В. М. Управление стоимостью объектов недвижимости на различных стадиях их жизненного цикла / В. М. Перехрестюк // Молодой ученый : [сайт]. — 2018. — № 36. — С. 71–73. — URL https://moluch.ru/archive/222/52565/ (дата обращения: 19.11.2022).

3. Морозенко, А. А. Особенности жизненного цикла и этапы разработки инвестиционно-строительного проекта / А. А. Морозенко // Вестник МГСУ. — 2018. — № 6. — С. 223–228.

4. Митрофанова, Н. О. Возможности использования BIM–технологий / Н. О. Митрофанова, А. В. Чернов, Е. В. Березина // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2016. — С. 177–182.

5. Каллаур, Г. Ю. Анализ затрат жизненного цикла в управлении проектами, реализуемыми с применением BIM-технологий / Г. Ю. Каллаур, Л. М. Папикян // В сб. матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании. Под ред. В. И. Ресина. — Москва : Изд-во РЭУ, 2017. — С. 313–320.

6. Зеленцов, Л. Б. Управление стоимостью инвестиционно-строительного проекта: Учебное пособие / Л. Б. Зеленцов, Т. Н. Макарцова, И. Г. Трипута. — Ростов-на-Дону : РГСУ, 2015. — 153 с.

7. Митрофанов, С. В. Проблемы новой реформы ценообразования в строительстве / С.В. Митрофанов // Сметно-договорная работа в строительстве. — 2019. — № 6. — С. 7–13.

8. Соловьев, В. В. Актуальные вопросы совершенствования системы ценообразования в строительстве в переходном периоде / В. В. Соловьев, А. П. Корчагин // Вестник МГСУ. — 2020. — Т. 15, № 4. — С. 605–616. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.4.605-616

9. Антонян, О. Н. Системные проблемы в сфере ценообразования и сметного нормирования и пути их преодоления / О. Н. Антонян, Е. Н. Карпушко // Экономика строительства. — 2014. — № 6 (30). — С. 58–62.

10. Власова, Г. А. Современные проблемы систем ценообразования при формировании сметной стоимости на территории Российской Федерации / Г. А. Власова, Н. В. Князева, Т. А. Шиндина // Сибирский журнал науки и технологий. — 2018. — Т. 19. — № 1. — С. 162–172.

11. Ардзинов, В. Д. Вопросы государственного ценообразования и сметного нормирования в строительстве / В. Д. Ардзинов // Экономика и управление. — 2020. — 26 (4). — С. 426–431.

12. Total Cost Management Framework. The Association for Cost Engineering, the Association for Advancement of Cost Engneering, 2012. — 373 p.

13. Automatic Estimation System of Building Frames with Integrated Structural Design Information (AutoES) / D. Kim, C. Lim, Y. Liu, S. Kim // Iranian Journal of Science and Technology — Transactions of Civil Engineering. — 2019. — 44(6). — P. 1145–1157. http://dx.doi.org/10.1007/s40996-019-00308-5

14. Thunberg, M. Developing a Framework for Supply Chain Planning in Construction / Thunberg M. // Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations. — 2016. — № 1782. — P. 99.

Поступила в редакцию 20.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Макарцова Татьяна Николаевна — доцент кафедры «Организация строительства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, makarcova@mail.ru

Кравченко Анастасия Игоревна — старший преподаватель кафедры «Организация строительства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, krav1610@yandex.ru

Шипилова Мария Антоновна — Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), MaaashaZheltova@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Т. Н. Макарцова — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов. А. И. Кравченко, М. А. Шипилова — подготовка текста, анализ результатов исследований, формирование выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.





УДК 622.251:624.151
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-45-56

Научная статья



Напряженно-деформированное состояние усиленного грунтового массива и крепи устья вертикального ствола во взаимодействии с фундаментами надшахтного здания

А. Ю. Прокопов ✉, **В. Ф. Акопян** , **Р. Ю. Шевченко**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ prokopov72@rambler.ru

Аннотация

Введение. Разработка месторождений полезных ископаемых связана со строительством сложных технологических комплексов на поверхности, обеспечивающих связь подземных работ с надземными системами. При строительстве зданий и сооружений надземных технологических комплексов горнодобывающих предприятий возникают как проблемы, связанные со сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, так и сложности, вызванные наличием комплекса подземных выработок (добычных, транспортных, вентиляционных, вспомогательных), оказывающих влияние на строительство и эксплуатацию объектов поверхности. В настоящей статье выполнено исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) сложной системы, включающей надшахтное здание, устье вертикального шахтного ствола с вентиляционным каналом в условиях, осложненных наличием просадочных грунтов и необходимостью их усиления.

Материалы и методы. В исследовании применялись: анализ существующих методов усиления грунтовых оснований применительно к конкретным инженерно-геологическим условиям строительства с учетом взаимного влияния наземных и подземных сооружений; математическое моделирование системы «устье вертикального ствола с вентиляционным каналом — просадочный грунтовый массив, усиленный грунтовыми сваями – фундаменты надшахтного здания»; изучение на моделях особенностей НДС, определение основных факторов, влияющих на проектные решения по усилению грунтового основания и фундаментов здания, воспринимающих сложный комплекс эксплуатационных нагрузок.

Результаты исследования. Установлено, что наземные несущие конструкции, фундаменты и грунтовое основание должны рассчитываться с учетом взаимного влияния с вертикальным стволом и примыкающим к нему вентиляционным каналом, исходя из определения параметров НДС. Монолитная бетонная крепь устья оказывает существенное влияние на НДС фундаментной плиты, повышая жесткость в местах контакта плиты с крепью. Минимальная вертикальная осадка плиты наблюдается над крепью устья ствола, максимальная – в центральной части здания, в местах приложения максимальной нагрузки.

Обсуждение и заключения. Сформулированы результаты исследования НДС усиленного грунтового массива и крепи устья вертикального ствола во взаимодействии с фундаментами надшахтного здания и даны рекомендации по учету влияющих факторов при проектировании таких объектов.

Ключевые слова: вертикальный шахтный ствол, вентиляционный канал, надшахтное здание, просадочные грунты, усиление грунтов, грунтовые сваи, фундаменты, математическое моделирование.

Для цитирования. Прокопов, А. Ю. Напряженно-деформированное состояние усиленного грунтового массива и крепи устья вертикального ствола во взаимодействии с фундаментами надшахтного здания / А. Ю. Прокопов,

В. Ф. Акопян, Р. Ю. Шевченко // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 1. — С. 45–56. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-45-56

Original article

Interaction of Stress-Strain State of the Reinforced Soil Mass and Vertical Shaft Mouth Lining with the Mine Surface Building's Foundations

Albert Yu. Prokopov ✉, **Vladimir F. Akopyan** , **Roman Yu. Shevchenko**

Don State Technical University, Gagarina sq. 1, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ prokopov72@rambler.ru

Abstract

Introduction. The mining of mineral deposits is related to the construction of sophisticated technological complexes on the surface being a liaison between underground operations and above-ground systems. During construction of the mining companies' buildings and structures of the above-ground technological complexes there arise problems related to the complicated engineering, geological and hydrogeological conditions, as well as emerge difficulties caused by the presence of underground workings (mining, transport, ventilation, auxiliary) affecting the construction and operation of surface facilities. In this article a study was made of the stress-strain state (SSS) of a complex system comprising a mine surface building, a vertical shaft mouth with a ventilation duct under conditions complicated by the presence of subsiding soils and the need of reinforcement thereof.

Materials and methods. In the study there were used: the analysis of existing methods of soil bases reinforcement as applied to the specific engineering and geological conditions of construction, subject to the interdependence of above-ground and underground structures; the mathematical modeling of the system "a vertical shaft mouth with a ventilation duct - a subsiding soil mass reinforced with soil piles - a mine surface building's foundations"; the study of SSS features on models, determination of the main factors affecting the design decisions on enforcement of soil bases and building foundations receiving a compound combination of operational loads.

Results. It has been found that the above-ground loadbearing structures, foundations and soil bases should be calculated taking into account the interdependence with the vertical shaft and the adjacent ventilation duct, based on the SSS parameters definition. The monolithic concrete mouth lining has a significant impact on the SSS of the foundation slab, increasing rigidity at the points of contact between the slab and the lining. The minimum vertical settlement of the slab is observed above the shaft mouth lining, the maximum - in the central part of the building, in the points of maximum load application.

Discussion and Conclusions. The results of the stress-strain state study of a reinforced soil mass and a vertical shaft mouth lining in interaction with the mine surface building's foundations are formulated, and recommendations are given on considering the affecting factors when designing such facilities.

Keywords: vertical mine shaft, ventilation duct, mine surface building, subsiding soils, soil reinforcement, soil piles, foundations, mathematical modeling.

For citation. A. Yu. Prokopov, V. F. Akopyan, R. Yu. Shevchenko. Interaction of Stress-Strain State of the Reinforced Soil Mass and Vertical Shaft Mouth Lining with the Mine Surface Building's Foundations. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 45–56. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-1-45-56

Введение. Вертикальные стволы горнодобывающих предприятий являются наиболее сложными и ответственными выработками, срок эксплуатации которых равен сроку службы шахты или рудника. Стволы сооружаются и эксплуатируются в комплексе с надземными зданиями и сооружениями, фундаменты оказывают дополнительную нагрузку на крепь. Проектирование, сооружение и эксплуатация вертикальных стволов должны рассматриваться с учетом комплексного взаимодействия с объектами шахтной поверхности, попадающими в зону влияния на крепь устья ствола. Эксплуатация надшахтных зданий часто усложняется неблагоприятными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, обусловленными наличием просадочных, набухающих и других структурно неустойчивых грунтов. В таких условиях необходим комплекс мероприятий по усилению грунтов оснований, что влияет на изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) породного массива, а также крепи устья вертикального ствола и примыкающих к нему вентиляционного канала и вспомогательных технологических сооружений. В настоящей статье рассмотрен пример математического моделирования просадочного породного массива, усиленного грунтовыми сваями, который вмещает крепь устья главного шахтного ствола с вентиляционным каналом, во взаимодействии с фундаментами и несущими конструкциями каркасного надшахтного здания. В результате моделирования доказано, что деформационные свойства усиленного породного массива и его ослабление вертикальным стволом и вентиляционным каналом оказывают существенное влияние на возникновение неравномерных вертикальных и горизонтальных деформаций несущих конструкций надшахтного здания.

Вертикальные стволы горнодобывающих предприятий являются капитальными выработками с большим сроком службы, от их технического состояния во многом зависит надежность и безопасность работы шахтного подъема и общешахтных систем. Основными элементами конструкций вертикальных стволов являются крепь и армировка, которые проектируются в зависимости от инженерно-геологических, гидрогеологических условий и эксплуатационных нагрузок от движущихся подъемных сосудов (скипов, клетей) и противовесов.

Значительный вклад в разработку методов проектирования, строительства и эксплуатации вертикальных стволов шахт и рудников внесли ученые Булычев Н. С. [1, 2], Ягодкин Ф. И. [3, 4], Сыркин П. С., Страданченко С. Г. [5], Плешко М. С. [3, 4, 6–9], Козел А. М., Борщевский С. В. [10], Савин И. И. [11], Манец И. Г., Масленников С. А. [5] и др.

Строительство устьев вертикальных стволов, зданий и сооружений поверхностных комплексов шахт и рудников может осложняться наличием неблагоприятных инженерно-геологических условий, обусловленных наличием в основании фундаментов структурно неустойчивых, прежде всего, просадочных грунтов. Такие инженерно-геологические условия характерны для территорий Донбасса, Кузбасса, рудных месторождений Забайкалья, Северного Кавказа и др. Основной проблемой проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений поверхностных комплексов стволов в таких условиях является наличие в основании фундаментов толщи просадочных грунтов, относящихся к структурно неустойчивым, т.е. изменяющим свои деформационные свойства в зависимости от влажности и других факторов. При строительстве зданий и сооружений на таких грунтах, в случае природного или техногенного подтопления, возникают неравномерные деформации грунтового основания, вызывающие повышенные напряжения в несущих конструкциях зданий, что может привести к возникновению в них дефектов (трещин, разрушений отдельных элементов) и деформаций (кренов, перекосов, сдвигов и др.).

Фундаментальным исследованиям свойств лёссовых просадочных грунтов, их микроструктур, выдвижению гипотез образования и изучению проблем строительства на них зданий и сооружений посвящены научные труды Сергеева Е. М., Трофимова В. Т., Ананьева В. П., Осипова В. И., Соколова В. Н. и др.

Известны результаты прикладных исследований, посвященных изучению влияния просадочных процессов на земную поверхность и несущие конструкции зданий и сооружений горнопромышленных территорий [12–14], разработке методов и технологий, обеспечивающих эксплуатационную надежность объектов в условиях просадочных оснований [15], а также разработке новых методов исследования НДС грунтовых массивов [16, 17] и изучению свойств новых строительных материалов и конструкций [18–20] для строительства в сложных инженерно-геологических условиях и др.

Целью настоящей статьи является изучение закономерностей НДС грунтового массива, являющегося одновременно основанием надшахтного здания и вмещающего устье вертикального главного ствола с примыкающим вентиляционным каналом. Для изучения изменения НДС при взаимном влиянии ствола и надшахтного здания используем математическое моделирование с применением метода конечных элементов.

Материалы и методы. Для исследований использованы методики расчетов металлических и железобетонных конструкций, применяемые в строительной механике, и методы математического моделирования с использованием программно-вычислительных комплексов SCAD и «Лира-Софт 10.10».

Цель расчета — определение параметров НДС грунтового массива во взаимодействии с устьем ствола, вентиляционным каналом и надшахтным зданием.

Исходными данными являются:

1. Численная модель надшахтного здания главного вертикального ствола, созданная в программном комплексе SCAD.

2. Результаты инженерно-геологических изысканий на промплощадке рудника, расположенного в Забайкальском крае.

3. Проект устройства грунтовых свай по методу проф. Б. Ф. Галая [13], используемых для усиления основания плитного фундамента надшахтного здания. Блок-схема исследования представлена на рис. 1.

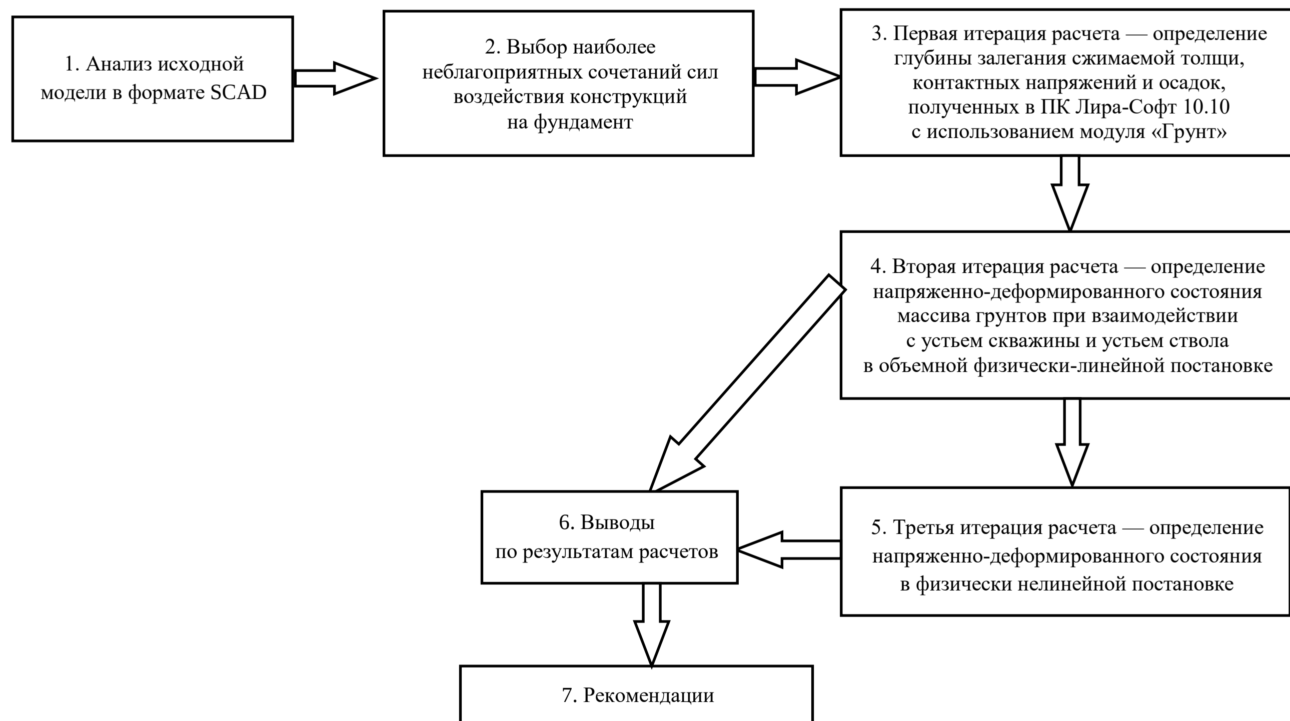


Рис. 1. Блок-схема проведения исследования (рисунок авторов)

Большое количество эксплуатационных нагрузок, передаваемых на несущие конструкции надшахтного здания главного ствола, обусловлено сложностью технологических процессов горного производства (работа шахтного подъема, загрузка полезного ископаемого из скипов в бункер, разгрузка из бункера в рельсовый

транспорт, движение и торможение транспорта, подвесных кранов и др.). Проведенный анализ показал, что в численных моделях (рис. 2), созданных в программном комплексе SCAD, количество возможных загружений равно 153. Принято решение выполнить расчет по расчетным сочетаниям усилий (РСУ) для определения наиболее невыгодных сочетаний (наибольших вертикальных сжимающих сил в базах колонн).

При определении неблагоприятных сочетаний усилий задавались нагрузки:

– постоянные — от собственного веса копра и отдельных конструкций здания;

– длительные — от веса оборудования, руды в бункере, платформ, вагонов и т.д.;

– кратковременные (снеговая, ветровая нагрузки с учетом пульсации ветра, вес людей и ремонтных материалов в зоне обслуживания);

– крановые (от движения и торможения подвесных и мостовых кранов);

– особые (сейсмические, аварийные) и др.

Расчет в ПК «Лира-Софт 10.10» выполнен с применением модуля «Грунт» для определения глубины сжимаемой толщи, контактных напряжений и осадки. Экспорт данных в ПК «Лира-Софт 10.10» (релиз R2) реализован через файл нейтрального формата системы FEMAP (*.neu).

Визуализация расчетной схемы надшахтного здания главного ствола рудника приведена на рис. 3. Результаты расчета параметров НДС с применением модуля «Грунт» для наиболее неблагоприятных сочетаний усилий представлены в виде изополей контактных напряжений (Rz) — на рис. 4; осадки (вертикальных перемещений) — на рис. 5; глубин сжимаемой толщи — на рис. 6; усредненного модуля деформации — на рис. 7; усредненного коэффициента Пуассона — на рис. 8; коэффициентов постели C_{1z} — на рис. 9.

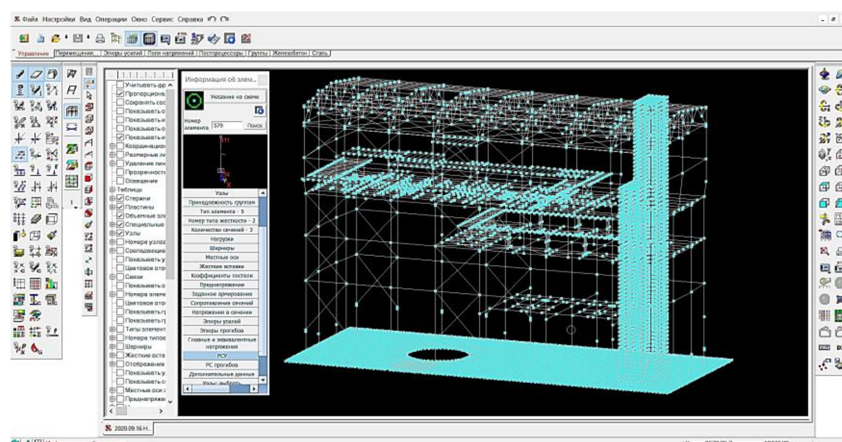


Рис. 2. Расчетная 3D-модель надшахтного здания ствола в ПК SCAD (рисунок авторов)

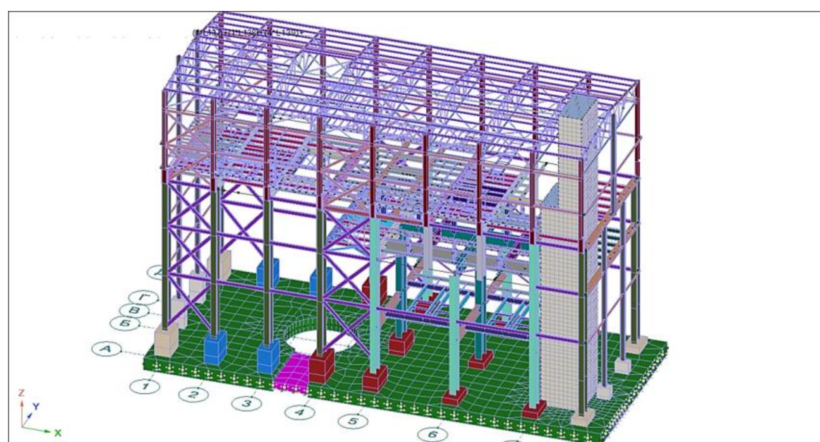


Рис. 3. Визуализация расчетной схемы надшахтного здания главного ствола рудника (рисунок авторов)

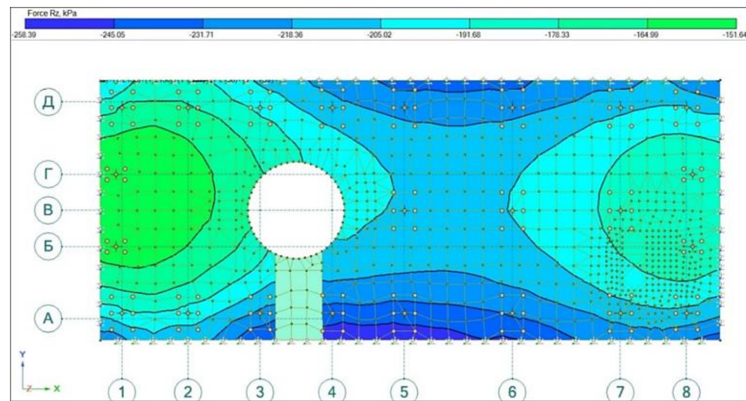


Рис. 4. Изополя контактных напряжений (усилий Rz) (рисунок авторов)

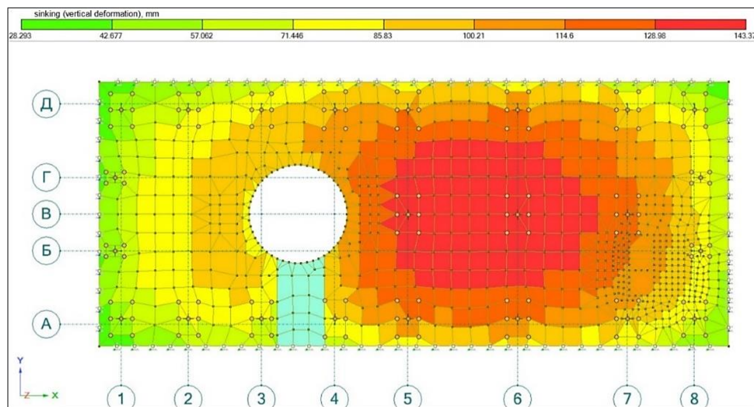


Рис. 5. Изополя осадки (вертикальных перемещений), мм (рисунок авторов)

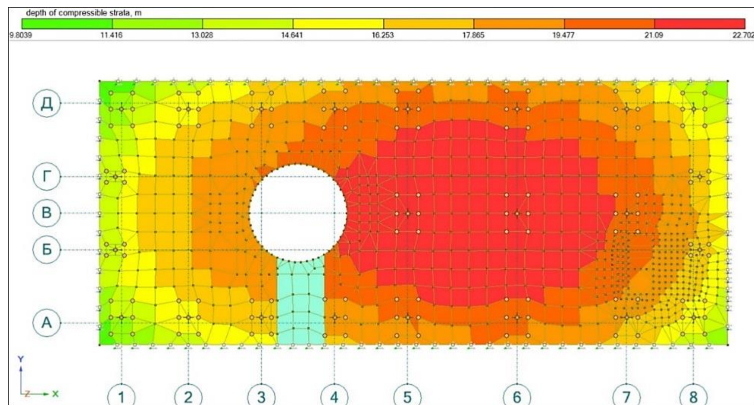


Рис. 6. Изополя глубин сжимаемой толщи, м (рисунок авторов)

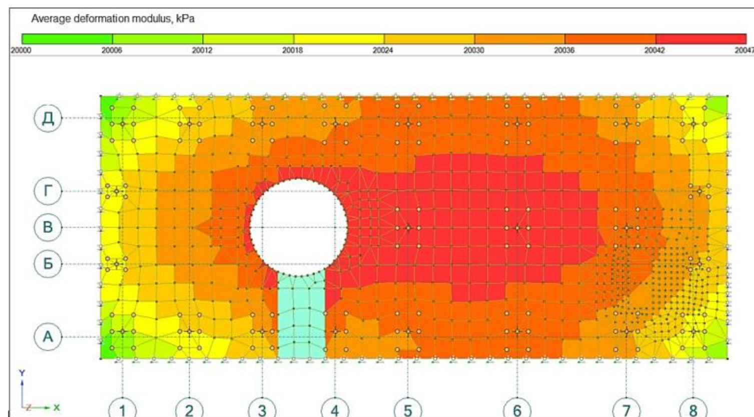


Рис. 7. Изополя усредненного модуля деформации, кПа (рисунок авторов)

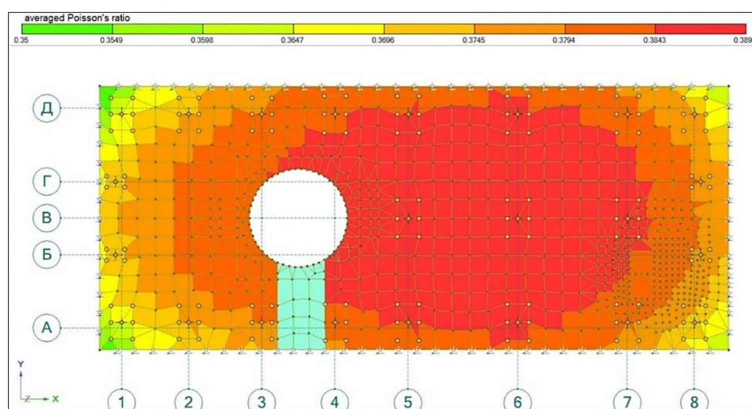


Рис. 8. Изополя усредненного коэффициента Пуассона (рисунок авторов)

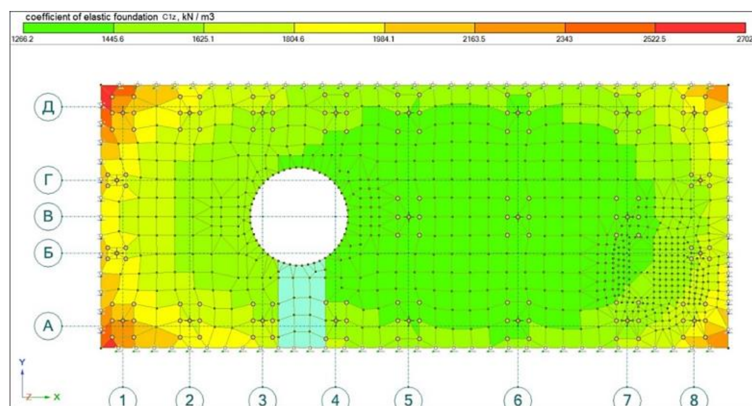


Рис. 9. Изополя коэффициентов постели C1z (рисунок авторов)

Результаты исследования. После первой итерации расчета – определения глубины сжимаемой толщи, контактных напряжений и осадок, полученных в ПК «Лира-Софт 10.10» с применением модуля «Грунт», была разработана трехмерная модель грунтового массива, усиленного грунтовыми сваями по методу проф. Б. Ф. Галая (Способ возведения буронабивной сваи: патент 2135691 РФ), во взаимодействии с крепью устья ствола, вентиляционного канала и надшахтного здания (рис. 10).

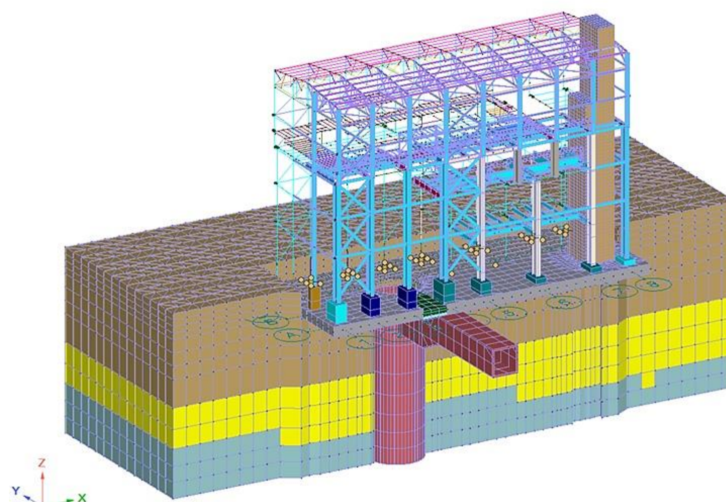


Рис. 10. Визуализация пространственной модели грунта во взаимодействии с надшахтным зданием, крепью устья главного ствола и вентиляционного канала (рисунок авторов)

Свойства грунтового массива приняты по данным инженерно-геологических изысканий на площадке с учетом усиления верхней толщи просадочных суглинков грунтовыми буронабивными сваями. Модель массива учитывает мощность и залегание (падение и простирание) каждого слоя грунта. Характеристики каждого выделенного инженерно-геологического элемента, использованные при разработке модели, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	Цвет (рис. 10)	Модуль деформации E, кПа	Коэффициент Пуассона	Удельный вес ρ_{II}, кН/м^3	Природная влажность w	Показатель текучести I_L	Коэффициент пористости e	Число пластичности I_p	Удельное сцепление c_{II}, кПа	Угол внутреннего трения φ_{II} °
	Дресвяный грунт с суглинистым заполнителем		36000	0,27	18,6	0,12	-0,58	0,64	12,8	4	29
	Суглинок уплотненный тугопластичный		20000	0,35	17	0,175	-0,45	0,686	12	20	20
	Глина лёгкая твёрдая		20100	0,42	17,8	0,232	-0,01	0,88	20,6	13	26

При действии наиболее неблагоприятного сочетания усилия определены параметры НДС системы «усиленный грунтовый массив — крепь устья ствола и вентиляционного канала — надшахтное здание». Вертикальные деформации указанной системы представлены на рис. 11.

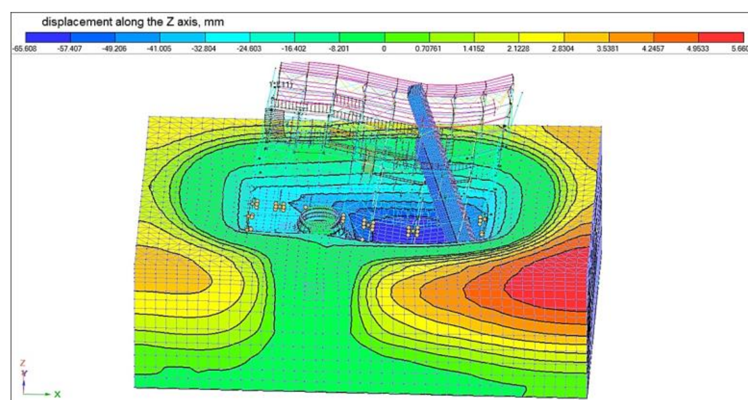


Рис. 11. Перемещение по оси Z (3D-вид) (рисунок авторов)

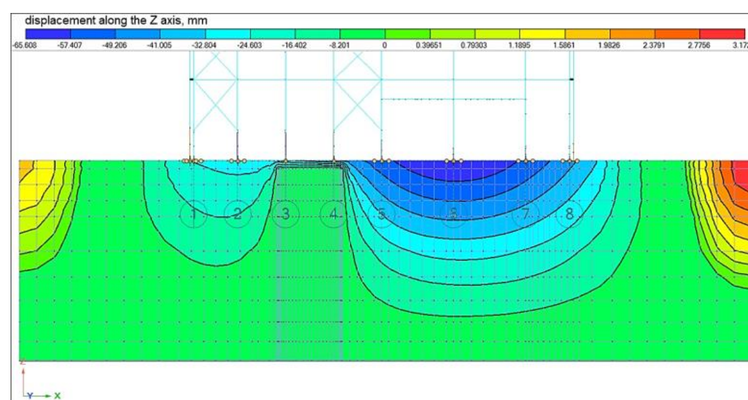


Рис. 12. Перемещение по оси Z (продольный разрез по оси ствола) (рисунок авторов)

Обсуждение и заключения. По результатам исследования сделаны следующие выводы:

1. Фундаментная плита надшахтного здания на усиленном грунтовом основании испытывает сложный комплекс постоянных, долговременных, кратковременных, крановых и особых нагрузок с большим количеством их возможных сочетаний. Наземные несущие конструкции, фундаменты и грунтовое основание должны рассчитываться с учетом взаимного влияния с вертикальным стволом и примыкающим к нему вентиляционным каналом, исходя из определения параметров НДС.

2. Монолитная бетонная крепь устья оказывает существенное влияние на НДС фундаментной плиты, повышая жесткость в местах контакта плиты с крепью. Минимальная вертикальная осадка плиты наблюдается над крепью устья ствола, максимальная – в центральной части здания (ось 6), в местах приложения максимальной нагрузки.

3. Вследствие неоднородной жесткости основания и неравномерности распределения нагрузок по площади плиты возникает разность осадок, которая для несущих конструкций и лифтовых шахт может стать критической. Поэтому очень важно оценить на трехмерных моделях совместные деформации грунтового основания, фундаментной плиты, конструкций надшахтного здания, крепи ствола и вентиляционного канала, в результате чего определить максимальные крены и относительные разности осадок, которые необходимо сравнить с допустимыми по СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».

4. Для оценки несущей способности основания необходимо оценить его расчетное сопротивление до и после усиления и сравнить с расчетными напряжениями под подошвой фундаментов. В рассматриваемом примере максимальные краевые напряжения по подошве фундамента, равные 258 кПа, не превышают расчетного сопротивления усиленного грунтового основания, равного 752 кПа.

5. Важным является и абсолютное значение максимальной осадки, которое может быть определено как в результате моделирования, так и с помощью пакетов прикладных программ, реализующих нормативные методики расчета. В рассматриваемом примере осадка плит не превышает предельно допустимого значения, равного 150 мм. Осадка фундаментных плит надшахтных зданий главного и вспомогательного стволов равна (143+28)/2 = 85,5 мм и (133+28)/2 мм = 80,5 мм соответственно. Поверочный расчет осадки плит методом линейно-деформируемого слоя, выполненный в ПК «Фундамент 14.2» показал, что деформация основания составит 90 мм.

6. Результаты моделирования и расчета осадки во многом зависят от корректности выбора свойств грунтового массива и закона их деформирования. Линейный расчет в пространственной постановке показал значения осадки около 66 мм. При физически нелинейном расчете деформация получила некоторое приращение (около 6 %) и составила 70 мм, что коррелирует с расчетом методом линейно-деформируемого слоя.

Полученные величины приведены в таблице 2.

Таблица 2

Величина осадки, мм, полученная различными методами

№ ствола	Осадка, мм, при расчете методом			
	Модуль «Грунт»	ПК «Фундамент 14.2» (метод линейно деформируемого слоя)	Моделирование в объемной линейной постановке	Моделирование в объемной нелинейной постановке
1	85,5	90	66,5	69,6
2	80,5	90	65,6	69,9

7. Глубина сжимаемой толщи для сооружения также изменяется для различных участков фундаментной плиты и при расчете осадки принимается ее максимальное значение, равное для 1-го и 2-го стволов соответственно 22,7 м и 22,5 м. Данные параметры использованы при расчетах в пространственной постановке.

8. В результате моделирования и расчетов НДС подобраны такие параметры фундаментной плиты, усиленного основания и крепи, для которых напряжения, возникающие в крепи устьев вертикальных стволов и крепи вентиляционного канала, не превышают расчетного сопротивления бетона на сжатие, т.е. крепь стволов и вентиляционного канала сохранит работоспособность при действии наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок на надшахтные здания.

Библиографический список

1. Bulychev, N. S. Analytical design method for vertical shaft lining / N. S. Bulychev // Archives of Mining Sciences. — 2008. — 53 (3). — Pp. 371–382.

2. Bulychev, N. S. The theory of underground structures design has gained strength / N. S. Bulychev, N. N. Fotieva, P. V. Deev // Harmonising Rock Engineering and the Environment — Proceedings of the 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics. — 2012. — Pp. 2031–2035.

3. Non-standard equipment for construction of vertical shafts / F. I. Yagodkin, A. Y. Prokopov, M. S. Pleshko, A. N. Pankratenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2017. — 87 (6). — 062014.

4. Yagodkin, F. Perspective Schemes Equipment Ultra-deep Shafts / F. Yagodkin, M. Pleshko, A. Prokopov // Procedia Engineering. — 2017. — 206. — Pp. 293–298.

5. Concrete activation in disintegrator during mine shaft fixing / S. G. Stradanchenko, S. A. Maslennikov, E. V. Shevchenko, V. I. Golik, Y. I. Razorenov // Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2016. — 11(6). — Pp. 1191–1195.

6. Improvement of the analysis and calculation methods of mine shaft design / M. S. Pleshko, Yu. A. Sil'chenko, A. N. Pankratenko, A. A. Nasonov // Mining Informational and Analytical Bulletin. — 2019. — 2019 (12). — Pp. 55–66.

7. Pankratenko, A. Analytical analysis of the stress-strain state of the system mechanized equipment complex – Support – Rock mass in the bottomhole area of the shaft / A. Pankratenko, M. Pleshko, A. Isaev // MATEC Web of Conferences. — 2018. — 193. — 02026.

8. Pleshko, M. Assessment of the technical condition of deep mine shafts / M. Pleshko, E. Kulikova, A. Nasonov // MATEC Web of Conferences. — 2018. — 239. — 01021.

9. New technology of underground structures the framework of restrained urban conditions / M. Pleshko, A. Pankratenko, A. Revyakin [et al] // E3S Web of Conferences. — 2018. Vol. 33. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302036

10. Efimova, N. D. Studies of the volume expansion of concrete mix for lining vertical shafts of mines / N. D. Efimova, N. D. Barsuk, S. V. Borschevsky // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources 2019 : 15th, St. Petersburg, 2019. — Vol. 1. — 488 p. https://doi.org/10.1201/9781003014577

11. Савин, И. И. Экспериментально-аналитический подход к расчету крепи вертикальных шахтных стволов / И. И. Савин // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. — 2009. — № 1. — С. 251–258.

12. Prokopov, A. Computer Modeling of Deformation Processes in the Event of Liquidation of a Dip over a Rock Mine / A. Prokopov, M. Prokopova, N. Hamidullina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — 272 (2). — 022118. 10.1088/1755-1315/272/2/022118

13. Prokopov, A. Application of the cartographic method of research for the detection of the dangerous zones of mining industrial territories / A. Prokopov, V. Zhur, A. Medvedev // MATEC Web of Conferences (XXVII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering). — 2018. Vol. 196. — 03009. https://doi.org/10.1051/matecconf/201819603009

14. Prokopov, A. The experience of strengthening subsidence of the soil under the existing building in the city of Rostov-on-Don / A. Prokopov, M. Prokopova, Ya. Rubtsova // MATEC Web of Conferences (International Science Conference SPbWOSCE «SMART City»). — 2017. Vol. 106. — 02001. https://doi.org/10.1051/matecconf/201710602001

15. Galay, B. F. Disadvantages of standards for construction on collapsible soils / B. F. Galay, V. V. Serbin, O. B. Galay // Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction : New Materials, Structures, Technologies and Calculations: Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations, GFAC 2019, Saint Petersburg, 2019 February, 06–08. — Saint Petersburg: Taylor & Francis Group, 2019. — P. 69–73. https://doi.org/10.1201/9780429058882-14

16. Methods of evaluation of geometrical and stress-strain properties of a geocomposite / A. A. Kruglikov, A. A. Vasilchenko, Ya. M. Ermolov, M. V. [et al] // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019. Vol. 2019. — P. 1–7. https://doi.org/10.3997/2214-4609.201901744

17. Прокопов, А. Ю. Математическое моделирование взаимовлияния автодорожного тоннельного комплекса № 6-6а и действующего железнодорожного тоннеля № 5 в г. Сочи / А. Ю. Прокопов, М. В. Прокопова, М. А. Ротенберг // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2013. — № S7. — С. 101–109.

18. Application of the finite element method in construction of the retaining structures on landslide-prone slopes / A. A. Kruglikov, G. I. Lazorenko, Y. M. Ermolov, V. A. Yavna // Geophysics 2015 — 11th EAGE International Scientific and Practical Conference and Exhibition on Engineering and Mining Geophysics. — 2015. Vol. 2015. — 00031. — https://doi.org/10.3997/2214-4609.201412251

19. Nesvetaev, G. About frost resistance of the contact zone of dry adhesive mixes classes C1 and C2 / G. Nesvetaev, A. Dolgova, A. Revyakin // E3S Web of Conferences. — 2020 — Vol. 157. — 06027. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706027

20. Effect of dosage of redispersible powders on the properties of fine concrete / G. V. Nesvetaev, A.V. Dolgova, L. V. Postoj [ea al] // Materials Science Forum. — 2020. — T. 974 MSF. — C. 413–418. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.974.413

Поступила в редакцию 21.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Прокопов Альберт Юрьевич — заведующий кафедрой «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ResearcherID, ORCID, prokopov72@rambler.ru

Акопян Владимир Феликсович — доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, vovaakop@mail.ru

Шевченко Роман Юрьевич — магистрант кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), roma.shevchenko.1999.2908@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. Ю. Прокопов — формирование основной концепции, анализ проблем строительства и эксплуатации надшахтных зданий в сложных инженерно-геологических условиях, обработка результатов моделирования, формулировка выводов. В. Ф. Акопян — разработка математических моделей, выполнение расчетного обоснования, визуализация расчетных схем. Р. Ю. Шевченко — обзор источников литературы, оформление графических материалов для статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.